

AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO NO TERMINAL DE CRUZEIROS E NA ESTAÇÃO DE PASSAGEIROS DO PORTO DE LEIXÕES

BRUNO HENRIQUE ZEFERINO RIBEIRO

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professora Doutora Eva Sofia Botelho Machado Barreira

Coorientador: Professor Doutor Ricardo Manuel dos Santos Ferreira de
Almeida

JUNHO DE 2017

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2016/2017

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446



miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440



feup@fe.up.pt



<http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2016/2017 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2017*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Aos meus Pais e Irmão

“Viver não é necessário. Necessário é criar.”

Fernando Pessoa

AGRADECIMENTOS

Com a aproximação do final de uma jornada, é fundamental agradecer às pessoas que estiveram presentes não só durante a realização desta dissertação, mas também na minha vida, contribuindo para que tudo isto se tornasse realidade.

- À Professora Doutora Eva Sofia Botelho Machado Barreira e ao Professor Doutor Ricardo Manuel dos Santos Ferreira de Almeida por todo o conhecimento, conselhos, dedicação e apoio constante ao longo da elaboração desta dissertação. De igual forma, agradeço ao engenheiro Vítor Cardoso pela ajuda no decorrer dos ensaios.

- À APDL (Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo) pela disponibilização dos locais para a elaboração das medições.

- Aos meus Pais, por todo o amor, carinho, confiança que me dão desde que eu nasci, por toda a paciência que têm ao lidar comigo e acima de tudo, pela força de viver que vocês me transmitem. Igualmente aos meus avós, pois o seu apoio também foi fundamental.

- Ao Francisco, Bárbara, Diana, Sofia e Rita por estes 17 anos de amizade, que sinceramente acredito que continuará por muitos mais.

- Ao José, Pedro, Ana, Cátia e Sandra por me proporcionarem um dos melhores anos da minha vida, a faculdade não podia ter terminado da melhor forma convosco ao meu lado.

- À Vânia, Raquel, Márcio, Miguel, Bruno, Daniel, Pedro, Manuel e Francisco por estarem ao meu lado durante os últimos 5 anos. Pela vivência de momentos que irão ficar gravados para sempre na minha memória e principalmente saber que poderei contar com vocês para tudo.

- E por último, mas não menos importante, à pessoa que mais sinto falta nesta vida, ao meu irmão Júnio. Obrigado por tudo o que me ensinaste, todo o carinho e todas as expectativas que depositaste em mim, muito daquilo que sou hoje devo-te a ti.

A todos um grande obrigado.

A dissertação foi realizada no âmbito do Projeto Sudoe Stop CO2. O Projeto Sudoe Stop CO2 é cofinanciado pelo programa Interreg Sudoe através do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER).

RESUMO

O conforto térmico dos indivíduos é uma preocupação cada vez mais atual. São vários os estudos para avaliar o conforto térmico em edifícios com diferentes utilizações. No entanto, ainda não existe muita informação disponível sobre edifícios utilizados como terminais de meio de transporte, onde os passageiros permanecem antes do embarque e após o desembarque.

A presente dissertação tem como principal objetivo a avaliação do conforto térmico em dois terminais de cruzeiros pertencentes à APDL (Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo), localizados em Matosinhos e em Leça da Palmeira. O procedimento de avaliação consistiu na medição de parâmetros ambientais, para a aplicação de modelos de avaliação de conforto. Simultaneamente realizaram-se inquéritos aos passageiros que utilizavam esses espaços. Como no edifício do terminal de cruzeiros de Matosinhos encontram-se as instalações do CIIMAR (Centro Interdisciplinar de Investigação Marinha da Universidade do Porto), foram desenvolvidos dois tipos de questionários, um para os passageiros e outro para os trabalhadores. Cada tipo de inquérito era distribuído pelos inquiridos que estavam próximos do equipamento de medição.

Em Matosinhos, foram realizadas três medições por dia, uma no período da manhã e outra no período da tarde, nos pisos utilizados pelos passageiros. A terceira medição foi executada durante a hora de almoço nas instalações do CIIMAR, numa zona comum de descanso. Em Leça da Palmeira, apenas se efetuaram duas, uma em cada período (manhã e tarde).

O principal objetivo destes ensaios foi a comparação do índice PMV, obtido a partir dos parâmetros ambientais medidos pelo equipamento, com os resultados das sensações e preferências térmicas dos inquiridos, com a finalidade de verificar se os modelos existentes poderiam ser aplicados a este tipo de edifício.

Para além desta análise de dados, foram também avaliados outros parâmetros com base na temperatura operativa, país de origem dos passageiros, idade, e por fim segundo modelos adaptativos.

No final, concluiu-se que a avaliação térmica dos referidos edifícios pelo modelo PMV, não alcançou os resultados expectáveis, existindo um desajuste entre os valores calculados e a sensação térmica real dos indivíduos. A análise de acordo com a temperatura operativa e as perceções térmicas médias atingiu melhores correlações do que com o modelo analítico.

PALAVRAS-CHAVE: Conforto Térmico (PMV e PPD), Sensação Térmica, Conforto Adaptativo, Monitorização *in situ*

ABSTRACT

People's thermal comfort is an increasing concern nowadays. There are several studies to evaluate thermal comfort in buildings with different uses. However, there is still not much information available about transportation terminal buildings, where passengers remain before boarding and after landing.

The main purpose of this dissertation is the analysis of the thermal comfort in two cruise ship terminals of APDL, located in Matosinhos and in Leça da Palmeira. The analysis consisted in the measurement of environmental parameters, for an application of comfort assessment models. At the same time, questionnaires were delivered to visitors. Due to the fact that the Matosinhos cruise terminal has, in the second floor, an investigation centre (CIIMAR), two types of questionnaires were developed, one for passengers and the other for CIIMAR workers. Each type of questionnaire was distributed to people who were close to the measuring equipment.

In Matosinhos, three measurements were made each day, one in the morning and one in afternoon on the floors used by the passengers. The third measurement was performed at lunch time in CIIMAR, in common rest area. In Leça da Palmeira, only two occurred, one in each period (morning and afternoon).

The main purpose of these tests was to compare the PMV index, obtained from the environmental parameters of the equipment, with the results of people's thermal sensations and preferences, verifying if the existing models could be applied to this type of building.

Apart from the analysis of the obtained data, extra analysis were made based on the operative temperature, the country of the passengers, age, and adaptive models.

At the end, it was concluded that the thermal comfort evaluation of these buildings by the PMV model did not have the expected results, with a mismatch between the calculated values and the individuals' real thermal sensation. The comparative analysis between the operating temperature and the mean thermal preferences had better correlations than with the analytical model.

KEYWORDS: Thermal Comfort (PMV and PPD), Thermal Sensation, Adaptive Comfort, *In situ* Monitoring

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
 1 Introdução	 1
1.1. ENQUADRAMENTO DO TRABALHO	1
1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO	2
1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO	3
 2 Estado da Arte	 5
2.1. CONFORTO TÉRMICO	5
2.1.1. CONCEITO	5
2.1.2. EQUILÍBRIO TÉRMICO	5
2.2. CORPO HUMANO - TERMORREGULAÇÃO	7
2.3. PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM O CONFORTO TÉRMICO	7
2.3.1. PARÂMETROS AMBIENTAIS	7
2.3.1.1. Temperatura do Ar	7
2.3.1.2. Temperatura Média Radiante	8
2.3.1.3. Humidade do Ar	8
2.3.1.4. Velocidade do Ar	9
2.3.1.5. Temperatura Operativa	9
2.3.2. PARÂMETROS PESSOAIS	10
2.3.2.1. Taxa de Metabolismo	10
2.3.2.2. Resistência Térmica do Vestuário	11
2.3.3. OUTROS FATORES QUE INFLUENCIAM O CONFORTO TÉRMICO	11
2.4. ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO	11
2.4.1. MODELO ANALÍTICO	11
2.4.2. MODELOS ADAPTATIVOS	13
2.4.3. OUTRAS FORMAS DE AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO	17
2.5. DESCONFORTO TÉRMICO LOCALIZADO	19
2.5.1. CORRENTE DE AR	19
2.5.2. ASSIMETRIA DE TEMPERATURA RADIANTE	20

2.5.3. DIFERENÇA DE TEMPERATURA NA VERTICAL.....	20
2.5.4. PAVIMENTO DEMASIADO QUENTE OU FRIO	21
2.5.5. SÍNTESE	22
2.6. ESTUDOS REALIZADOS	22
 3 Metodologia.....	 27
3.1. OBJETIVO	27
3.2. ENQUADRAMENTO HISTÓRICO.....	27
3.3. ENQUADRAMENTO – ENSAIOS	28
3.4. PROCEDIMENTO DE ENSAIOS.....	29
3.4.1. DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS AMBIENTAIS	29
3.4.1.1. Parâmetros Ambientais Interiores	29
3.4.1.2. Parâmetros Ambientais Exteriores.....	31
3.4.2. DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS PESSOAIS	32
3.5. LOCAIS DE MEDIÇÃO	32
3.6. INQUÉRITOS.....	35
3.7. SÍNTESE.....	38
 4 Resultados.....	 41
4.1. CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA.....	41
4.1.1. CARACTERIZAÇÃO QUANTITATIVA E POR GÉNERO DOS INQUIRIDOS.....	41
4.1.2. IDADE DOS INQUIRIDOS.....	42
4.1.3. PESO E ALTURA DOS INQUIRIDOS.....	43
4.1.4. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS PASSAGEIROS	44
4.1.5. NÚMERO DE COMPANHEIROS DE VIAGEM E TEMPO DE PERMANÊNCIA NO EDIFÍCIO	46
4.1.6. ESTADO DE SAÚDE E PRÁTICA DE EXERCÍCIO FÍSICO	47
4.1.7. RESISTÊNCIA TÉRMICA DO VESTUÁRIO DOS INQUIRIDOS.....	48
4.2. PERCEÇÕES TÉRMICAS DOS INQUIRIDOS.....	49
4.2.1. SENSACÃO TÉRMICA	50
4.2.1.1. TMAP	50
4.2.1.2. TLP	50
4.2.1.3. CIIMAR	51
4.2.2. PREFERÊNCIA TÉRMICA.....	51
4.2.2.1. TMAP	51

4.2.2.2. TLP	52
4.2.2.3. CIIMAR	52
4.2.3. AVALIAÇÃO E TOLERÂNCIA TÉRMICA	53
4.2.3.1. TMAT	53
4.2.3.2. TLP	54
4.2.3.3. CIIMAR	55
4.2.3.4. Desconforto Térmico Localizado	56
4.3. MODELO ANALÍTICO	58
4.3.1. PMV E PPD	58
4.3.1.1. TMAT	58
4.3.1.2. TLP	60
4.3.1.3. CIIMAR	61
4.3.2. DESCONFORTO TÉRMICO LOCALIZADO	61
4.3.2.1. Taxa de Corrente de Ar	61
4.3.2.2. Diferença de Temperatura na Vertical	63
4.3.2.3. Pavimento Demasiado Quente ou Frio	64
4.4. PRINCIPAIS CONSIDERAÇÕES	65
 5 Análise e Discussão de Resultados	 67
5.1. PERCEÇÃO TÉRMICA MÉDIA E ÍNDICES ANALÍTICOS – ANÁLISE GERAL	67
5.1.1. TMAT	67
5.1.2. TLP	68
5.1.3. CIIMAR	69
5.1.4. PRINCIPAIS CONSIDERAÇÕES	70
5.2. PERCEÇÃO TÉRMICA, ÍNDICES ANALÍTICOS E TEMPERATURA OPERATIVA	70
5.2.1. TMAT	70
5.2.2. TLP	71
5.2.3. CIIMAR	72
5.2.4. PRINCIPAIS CONSIDERAÇÕES	72
5.3. PERCEÇÃO TÉRMICA MÉDIA E ÍNDICES ANALÍTICOS – EFEITO DA PROVENIÊNCIA	73
5.4. PERCEÇÃO TÉRMICA MÉDIA E ÍNDICES ANALÍTICOS – EFEITO DA IDADE	75
5.5. MODELOS ADAPTATIVOS	77
5.5.1. MODELO ASHRAE 55	77
5.5.2. MODELO EN15251	79

5.5.3. PRINCIPAIS CONSIDERAÇÕES	82
6 Conclusões	85
6.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS	85
6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	87
Bibliografia	89
ANEXOS	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Trocas de calor ente o ser humano e o ambiente.....	6
Figura 2 – Modelo Analítico (Adaptado de [11]).....	13
Figura 3 – Adaptação térmica entre o utente e o edifício [3].....	14
Figura 4 – Modelo adaptativo para avaliação do conforto térmico (Adaptado de [10]).....	14
Figura 5 - Modelo adaptativo para avaliação do conforto térmico (Adaptado de [15]).....	16
Figura 6 – Modelo adaptativo para avaliação do conforto térmico [3].....	16
Figura 7 – Método gráfico para avaliação de conforto térmico [9]	18
Figura 8 – Nomograma temperatura efetiva, a), e resultante, b) [3]	18
Figura 9 – Assimetria de Temperatura Radiante [11]	20
Figura 10 – Diferença de temperatura na vertical [11]	21
Figura 11 – Pavimento demasiado quente ou frio [11].....	21
Figura 12 – Variação do PMV nas estações Syntagma e Doukissis Plakentias	23
Figura 13 – Variação da temperatura do túnel de metro em função da temperatura exterior	24
Figura 14 – Distribuição dos resultados de conforto térmico nos meses de Setembro de	25
Figura 15 – Resultados dos inquéritos aos utilizadores nos três terminais (Adaptado de [19]).....	26
Figura 16 – Localização em planta (A) e vista real dos 2 terminais em estudo (B) (Adaptado de [23]).....	29
Figura 17 – Equipamento de medição	31
Figura 18 – Corte do Edifício do Terminal de Cruzeiros de Matosinhos (Adaptado de [25])	33
Figura 19 - Planta e Local de Medição - Terminal de Matosinhos (Piso 0).....	33
Figura 20 - Planta e Local de Medição - Terminal de Matosinhos (Piso 1).....	34
Figura 21 - Planta e Local de Medição - Terminal de Matosinhos (Piso 2).....	34
Figura 22 - Planta e Local de Medição - Terminal de Leça da Palmeira (Piso 0)	35
Figura 23 – Inquéritos para avaliação do conforto térmico dos passageiros	36
Figura 24 - Inquérito para avaliação do conforto térmico no CIIMAR	37
Figura 25 – Síntese do procedimento dos dias de ensaios	38
Figura 26 – N° de inquéritos realizados	38
Figura 27 – N° de medições realizadas.....	38
Figura 28 – Caracterização da amostra: a) três casos de estudo, b) TMAT e TLP, c) divididos por género no TMAT e TLP, d) divididos por género no CIIMAR.....	41
Figura 29 – Número de inquiridos nos três casos de estudo	42
Figura 30 – Distribuição das idades dos inquiridos: a) TMAT, b) TLP e c) CIIMAR	42
Figura 31 - Dados relativos ao TMAT: a) altura, b) peso	43
Figura 32 - Dados relativos ao TLP: a) altura, b) peso	43

Figura 33 - Dados relativos ao CIIMAR: a) altura, b) peso	44
Figura 34 – Distribuição espacial dos passageiros pelo mundo	44
Figura 35 – Total de passageiros pertencentes a cada país	45
Figura 36 – Classificação climática de Köppen-Geiger (Adaptado de [27])	45
Figura 37 – Distribuição dos passageiros pelos 5 grandes climas	46
Figura 38 – Nº médio de minutos de permanência dos inquiridos no edifício: a) TMAT, b) TLP e c) CIIMAR.....	47
Figura 39 - Nº de companheiros de viagem: a) TMAT e b) TLP	47
Figura 40 – Dados relativos aos três casos de estudo: a) prática de exercício físico e b) estado de saúde.....	48
Figura 41 – Resistência térmica do vestuário dos ensaios relativos aos passageiros, nos dois terminais	48
Figura 42 – Resistência térmica do vestuário nos ensaios relativos ao CIIMAR	49
Figura 43 – Sensação térmica no TMAT: a) Período do dia, b) Género	50
Figura 44 - Sensação térmica no TLP: a) Período do dia, b) Género.....	51
Figura 45 - Sensação térmica no CIIMAR: a) Período do dia, b) Género	51
Figura 46 - Preferência térmica no TMAT: a) Período do dia, b) Género	52
Figura 47 - Preferência térmica no TLP: a) Período do dia, b) Género	52
Figura 48 - Preferência térmica no CIIMAR: a) Período do dia, b) Género	53
Figura 49 - Tolerância térmica no TMAT: a) Período do dia, b) Género.....	54
Figura 50 – Avaliação térmica no TMAT: a) Período do dia, b) Género	54
Figura 51 - Tolerância térmica no TLP: a) Período do dia, b) Género	55
Figura 52 - Avaliação térmica no TLP: a) Período do dia, b) Género	55
Figura 53 - Tolerância térmica no CIIMAR: a) Período do dia, b) Género	56
Figura 54 - Avaliação térmica no CIIMAR: a) Período do dia, b) Género	56
Figura 55 –Desconforto térmico localizado: a) TMAT, b) TLP e c) CIIMAR.....	57
Figura 56 – Resultados de parâmetros medidos na análise feita para os locais junto às janelas e aos bancos.....	58
Figura 57 – Variação do PMV em função do tempo	59
Figura 58 – a) Relação PMV e PPD b) Nº de Ensaios pertencentes a cada categoria	60
Figura 59 - a) Relação PMV e PPD b) Nº de Ensaios pertencentes a cada categoria	60
Figura 60 - a) Relação PMV e PPD b) Nº de Ensaios pertencentes a cada categoria	61
Figura 61 – Distribuição das percentagens de DR: a) máximas b) médias	62
Figura 62 - Distribuição das percentagens de DR: a) máximas b) médias	62
Figura 63 - Distribuição das percentagens de DR: a) máximas b) médias	63

Figura 64 – Diferença de temperatura na vertical: a) TMAT, b) TLP e c) CIIMAR.....	64
Figura 65 - Pavimento demasiado frio ou quente: a) TMAT, B) TLP e c) CIIMAR.....	65
Figura 66 – Comparação no TMAT entre: a) PMV e STM b) STM e PTM.....	68
Figura 67 - Comparação no TLP entre: a) PMV e STM b) STM e PTM.....	69
Figura 68 - Comparação no CIIMAR entre: a) PMV e STM b) STM e PTM.....	69
Figura 69 – Relação entre T_{op} , STM e PMV no TMAT	71
Figura 70 - Relação entre T_{op} , STM e PMV no TLP	71
Figura 71 - Relação entre T_{op} , STM e PMV no CIIMAR	72
Figura 72 – Temperaturas médias diárias exteriores de todos os dias de ensaios	73
Figura 73 – Valores de T_{op} para PMV=0 e STM=0	73
Figura 74 – Sensação térmica de passageiros pertencentes a diferentes climas	74
Figura 75 – Divisão de passageiros por climas: a) TMAT b) TLP	74
Figura 76 – Divisão de passageiros por idades: a) TMAT, b) TLP	75
Figura 77 – Diferenças entre I_{cl} para os dois conjuntos de idades: a) TMAT, b) TLP	76
Figura 78 – Cálculo dos valores de PMV para diferentes I_{cl}	77
Figura 79 – TMAT: a) Modelo ASHRAE55 [10], b) N° de Ensaio fora da zona de conforto interior ...	78
Figura 80 - TLP: a) Modelo ASHRAE55 [10], b) N° de Ensaio fora da zona de conforto interior	78
Figura 81 – Modelo ASHRAE 55 [10] – CIIMAR.....	79
Figura 82 – Modelo EN 15251 (Adaptado de [15])	79
Figura 83 - TMAT: a) Modelo EN15251 [15], b) N° de Ensaio fora de cada categoria – Manhã, c) N° de Ensaio fora de cada categoria – Tarde	80
Figura 84 - TLP: a) Modelo EN15251 [15] , b) N° de Ensaio fora de cada categoria – Manhã, c) N° de Ensaio fora de cada categoria – Tarde	81
Figura 85 – CIIMAR: a) Modelo EN15251 [15], b) N° de Ensaio fora de cada categoria.....	82
Figura 86 – T_m , T_{mp} e T_{op} (média e desvio padrão) de todos os ensaios	82

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Valor de A a partir da v_a [10].....	9
Quadro 2 - Escala de Conforto Térmico ([10], [11])	12
Quadro 3 – Divisão do conforto térmico global por categorias [11]	13
Quadro 4 – Intervalos de valores admissíveis para o modelo Matias [3].....	17
Quadro 5 – Escala conforto térmico RWI [16].....	19
Quadro 6 – Divisão do desconforto térmico localizado por categorias [11]	22
Quadro 7 – Caracterização construtiva dos terminais (Adaptado de [22]).....	28
Quadro 8 – Características gerais das sondas do equipamento <i>Thermal Microclimate HD32.1</i> [24]...30	
Quadro 9 – Intervalo de horários das medições	39
Quadro 10 – Escala de Sensação e Preferência Térmica (Adaptado de [26])	49
Quadro 11 – Intervalo de valores de temperaturas na estação de aquecimento [15]	79

SIMBOLOGIA E ABREVIATURAS

A - Parâmetro dependente da Velocidade do Ar (v_a)

APDL – Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo, AS

ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers

CIIMAR – Centro Interdisciplinar de Investigação Marinha da Universidade do Porto

C - Trocas de calor por Convecção [W/m^2]

DR – Taxa de corrente de ar (Draught Rate) [%]

E - Perdas de calor por Evaporação [W/m^2]

H – Energia convertida em calor interno do corpo

HR - Humidade relativa [%]

I_{cl} - Resistência térmica do vestuário [clo ou $\text{m}^2\cdot\text{K/W}$]

ISO – International Organization for Standardization

K - Trocas de calor por condução [W/m^2]

LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil

M - Taxa de metabolismo [W/m^2 ou met]

PD – Percentagem de pessoas insatisfeitas (Percentage Dissatisfied) [%]

PMV – Voto médio previsível (Predicted Mean Vote)

PPD – Percentagem previsível de insatisfeitos (Predicted Percentage Dissatisfied) [%]

PTM – Preferência Térmica Média

P_a - Pressão do vapor de água [kPa]

P_{as} - Pressão do vapor de água saturado [kPa]

R - Trocas de calor por Radiação [W/m^2]

RWI - Relative Warmth Index

S - Acumulação de calor no corpo [W/m^2]

STM - Sensação Térmica Média

TLP - Estação de Passageiros, Doca 1 Norte, Leça da Palmeira (Piso 0)

TMAT – Terminal de cruzeiros sul, Matosinhos (Piso 0 e 1)

T_a - Temperatura do ar [$^{\circ}\text{C}$]

T_b - Temperatura ao nível do peito [$^{\circ}\text{C}$]

T_f - Temperatura ao nível do chão [$^{\circ}\text{C}$]

T_h - Temperatura ao nível da cabeça [$^{\circ}\text{C}$]

T_k - Temperatura ao nível do tornozelo [$^{\circ}\text{C}$]

T_m - Temperatura exterior média mensal [$^{\circ}\text{C}$]

T_{mp} - Temperatura exterior exponencialmente ponderada [°C]
 T_{mr} - Temperatura média radiante [°C]
 T_{n-i} - Temperatura média exterior dia i [°C]
 T_{oc} - Temperatura operativa de conforto [°C]
 T_{op} - Temperatura operativa [°C]
 T_{pr} - Temperatura plana radiante [°C]
 v_a - Velocidade do ar [m/s]
 W - Trabalho mecânico exterior [W/m²]
 X - Média
 $\Delta_{a,v}$ - Diferença de temperatura vertical do ar entre a cabeça e os pés [°C]
 Δ_{pr} - Assimetria de temperatura radiante [°C]
 $A; B; C$ - Fatores dependentes da posição do indivíduo
 σ - Desvio padrão

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO DO TRABALHO

O corpo humano efetua trocas com a envolvente, através de processos como: a radiação, a condução, a convecção e a evaporação. O equilíbrio térmico atinge-se quando as trocas entre o indivíduo e o ambiente são iguais, podendo estas ser influenciadas por mecanismos termorreguladores que ajustam a temperatura corporal a uma determinada ambiência.

O conforto térmico de um local é essencial para a satisfação corporal de um indivíduo em qualquer tipo de edifício. O descontentamento face ao meio ambiente que o rodeia influencia o tipo de atividade que o ser humano desenvolve, por mais simples que seja.

Os cruzeiros são cada vez mais uma das formas de eleição para viajar, e consequentemente a preocupação pelo bem-estar dos passageiros nos terminais tem vindo a aumentar, em virtude desses espaços constituírem o primeiro local com o qual os viajantes contactam após a saída dos navios.

O principal objetivo da presente dissertação é o estudo do conforto térmico em edifícios/compartimentos que funcionam como locais de permanência de passageiros antes do embarque ou após o desembarque em navios de cruzeiros. Os casos de estudo base são: a estação de passageiros, em Leça da Palmeira, e o terminal de cruzeiros, em Matosinhos.

A realização desta avaliação térmica é baseada em modelos analíticos, o PMV e o PPD, e abordagens adaptativas fundamentadas em duas normas. Para uma melhor discussão dos resultados, desenvolveram-se inquéritos e interpretaram-se os respetivos resultados para melhor entender a perceção de conforto dos indivíduos no momento de execução das medições.

1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO

O principal objetivo deste trabalho é a avaliação do conforto térmico dos dois edifícios que funcionam como zona de embarque/desembarque de passageiros. Para alcançar esse propósito foram definidos os seguintes parciais:

- Avaliação do conforto térmico a partir do modelo analítico, verificando se este é o mais adequado para a aplicação neste tipo de edifícios;
- Realização de inquéritos aos passageiros dos cruzeiros e trabalhadores do CIIMAR, com a finalidade de conhecer as suas perceções térmicas e posteriormente comparar com os valores de PMV;
- Análise dos resultados obtidos pela aplicação dos modelos adaptativos propostos em diferentes normas;
- Averiguação da influência de parâmetros pessoais como: o género, a idade, o país de origem, o estado de saúde, a prática de exercício físico, o tempo de permanência no edifício e o número de companheiros de viagem, na perceção do conforto térmico dos locais em estudo;
- Execução de medições em diferentes espaços e períodos, de maneira a comparar os resultados obtidos e caracterizar os locais do ponto de vista de conforto térmico;

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

Os 6 capítulos da presente dissertação encontram-se divididos da seguinte forma:

- Capítulo 1 – Corresponde à introdução e descreve o enquadramento, os objetivos e a estrutura do trabalho;
- Capítulo 2 – Apresenta os principais tópicos relacionados com o conforto térmico. Descreve o tipo de trocas de calor entre o ser humano e o meio ambiente, e os mecanismos para este restabelecer a sua temperatura corporal normal. Aponta os parâmetros ambientais e pessoais que influenciam o conforto térmico, e os índices PMV e PPD, baseados no modelo analítico. Os modelos adaptativos propostos por diferentes normas ou autores, bem como a noção de desconforto térmico localizado também foram objeto de análise. Por fim, são apresentados vários estudos realizados, fora de Portugal, no âmbito da avaliação do conforto térmico no interior de estações de passageiros (comboio, metro e aeroporto);
- Capítulo 3 – Neste capítulo apresenta-se a metodologia, começando-se por fazer um enquadramento histórico dos casos de estudo e uma descrição dos locais avaliados. É também realizada a caracterização das sondas do equipamento utilizado nos ensaios, assim como o tipo de programas que permitem a extração e tratamento dos dados medidos. Por último, apresentam-se os inquéritos criados para esta avaliação;
- Capítulo 4 – Evidenciam-se os resultados, começando por se caracterizar a amostra humana por género, idade, peso, altura, I_{cl} , etc. Para além disso é efetuada a análise dos dados obtidos nos inquéritos relacionados com a avaliação térmica pessoal dos inquiridos. Bem como a indicação dos resultados das medições de conforto térmico global (PMV e PPD) e desconforto térmico localizado;
- Capítulo 5 – Faz-se a análise e discussão dos resultados, por comparação, de uma forma global, dos diversos parâmetros avaliados, como: índices analíticos, temperatura operativa, sensação e preferência térmica média. De seguida procede-se a um estudo mais detalhado das diversas variáveis anteriormente avaliadas em função dos intervalos de idades, tipo de climas e resistências térmicas do vestuário;
- Capítulo 6 – São apresentadas as principais conclusões assim como eventuais desenvolvimentos futuros.

2

ESTADO DA ARTE

2.1. CONFORTO TÉRMICO

2.1.1. CONCEITO

O conceito de conforto térmico é classificado como abstrato, pois depende das condições físicas e psicológicas de cada pessoa, sendo muito improvável que todos os indivíduos presentes num certo local estejam em total satisfação com o ambiente térmico em seu redor. Segundo Piedade et al. [1] *considera-se assim correntemente que um indivíduo está colocado em condições de conforto higrotérmico quando não experimenta qualquer desagrado ou irritação de modo a distraí-lo das suas atividades de momento.*

Fanger [2] determinou três exigências de conforto térmico para o ser humano se sentir confortável com o meio ambiente onde se insere:

- O corpo humano tem de estar em equilíbrio térmico (conceito explicitado no capítulo 2.1.2.);
- A taxa de suor tem de permanecer dentro dos limites aceitáveis de conforto;
- A temperatura superficial da pele tem de situar-se num intervalo de valores admissíveis.

2.1.2. EQUILÍBRIO TÉRMICO

A situação ideal é aquela em que o indivíduo se encontra em equilíbrio térmico com o meio ambiente, de modo que as transferências de energia entre o seu corpo e a envolvente sejam iguais, não havendo acumulação, nem perda de calor [2].

Fanger [2] propõe a seguinte equação para o estado de equilíbrio térmico:

$$S = M - W - E \pm R \pm C \pm K \quad (1)$$

Em que:

S - Acumulação de Calor no Corpo [W/m^2]

M - Taxa de Metabolismo [W/m^2]

W - Trabalho Mecânico Exterior [W/m^2]

E - Perdas de calor por Evaporação [W/m^2]

R - Trocas de calor por Radiação [W/m^2]

C - Trocas de calor por Convecção [W/m^2]

K - Trocas de calor por Condução [W/m^2]

As trocas de calor podem ocorrer através de [3]:

- Condução - entre o corpo humano e uma superfície da envolvente em estado sólido;
- Radiação - entre o indivíduo e a envolvente que o rodeia (por exemplo, paredes e janelas de um compartimento);
- Convecção - a partir do movimento do ar em torno do corpo humano;
- Evaporação - esta pode suceder-se a partir das vias respiratórias, através de um processo fundamental à vida humana, a respiração. Também se pode processar ao nível da pele, dando-se de duas formas: produção de suor (através das glândulas sudoríparas) quando o metabolismo aumenta, ou por efeito de perspiração insensível. A perspiração insensível é a evaporação de água pela superfície da pele, em quantidades mínimas e de forma contínua.

As trocas de calor entre o ser humano e a envolvente encontram-se ilustradas na Figura 1.

O metabolismo total é igual à soma do trabalho mecânico exterior com a energia que é acumulada como calor interno no corpo.

$$M = H + W \quad (2)$$

H – Energia convertida em calor interno do corpo

No entanto, Fanger [2], referiu que apenas uma pequena parcela desse metabolismo total é convertida em trabalho mecânico exterior, sendo que maior parte é transformado em calor interno. Assim, o valor de H , obtém-se subtraindo a taxa de metabolismo pelo trabalho mecânico exterior, $M - W$ [4].

O equilíbrio térmico ocorre quando $S = 0 \text{ [W/m}^2\text{]}$, ou seja, não existe acumulação de calor no corpo e o indivíduo encontra-se em equilíbrio com o ambiente em redor [4].

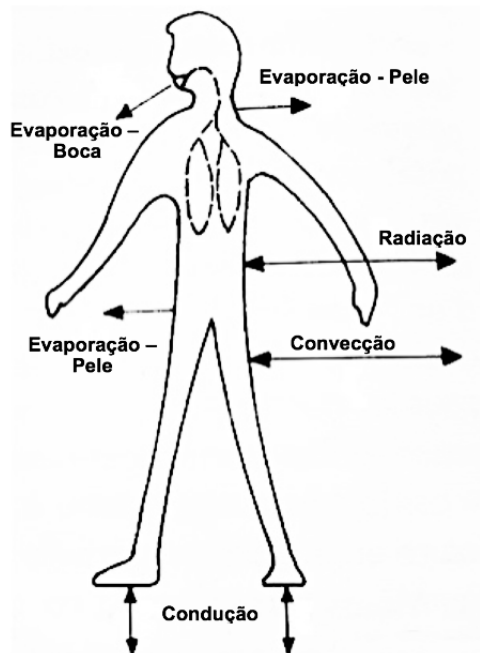


Figura 1 – Trocas de calor ente o ser humano e o ambiente
(Adaptado de [5])

2.2. CORPO HUMANO - TERMORREGULAÇÃO

A temperatura corporal ao nível do cérebro é aproximadamente 37°C, no entanto esta pode variar de acordo com o clima, estado de saúde ou atividade de um indivíduo. As situações letais ocorrem quando a temperatura do organismo atinge valores superiores a 46°C ou inferiores a 28°C [6].

O ser humano responde às variações de temperatura através de mecanismos reguladores. Essas alterações fazem com que o hipotálamo, responsável pela regulação da temperatura corporal, desencadeie uma resposta levando à ocorrência de diversos fenómenos, tais como a vasoconstrição e a vasodilatação [7].

Em situações em que ocorre arrefecimento, o hipotálamo provoca o fenómeno de vasoconstrição, diminuindo o fluxo sanguíneo (diminuição da espessura dos vasos sanguíneos) para haver a conservação de calor. Se o fenómeno anterior não impedir a diminuição da temperatura superficial, dão-se reações, no ser humano, como arrepios ou tremores. No caso de circunstâncias extremas em que o organismo não tem capacidade suficiente para combater este arrefecimento, ocorre o estado de hipotermia podendo originar a morte do indivíduo. Quando o ambiente aquece, ocorre a vasodilatação, levando a um aumento do fluxo sanguíneo (aumento da espessura dos vasos sanguíneos). Se a temperatura ambiente aumentar continuamente ocorre a evaporação por transpiração, de forma a baixar a temperatura corporal [6].

2.3. PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM O CONFORTO TÉRMICO

Os parâmetros que influenciam o conforto térmico podem dividir-se em dois grupos: de carácter ambiental e pessoal.

2.3.1. PARÂMETROS AMBIENTAIS

Fanger [2] refere que os parâmetros ambientais mais importantes no estudo do conforto térmico são:

- Temperatura do ar [T_a em °C];
- Temperatura média radiante [T_{mr} em °C];
- Velocidade do ar [v_a em m/s];
- Humidade relativa [HR em %].

2.3.1.1. Temperatura do Ar

A temperatura do ar [T_a] corresponde à temperatura ambiente real de um determinado espaço e pode ser denominada também de temperatura de bolbo seco [4].

É fundamental considerar-se este parâmetro quando se calculam as trocas de calor por convecção entre o ser humano e a envolvente [8].

O valor pode ser determinado a partir de termómetros mais comuns, como por exemplo de mercúrio, ou outros com mecanismos eléctricos. Porém, a medição é muitas vezes influenciada por outros fatores, pelo que é importante a verificação do correto estado do equipamento antes da utilização [4].

Segundo a norma ISO 7726 [8] a temperatura do ar deverá situar-se dentro do intervalo de valores entre 10 °C e 40 °C, para o conforto térmico ser garantido.

2.3.1.2. Temperatura Média Radiante

A ISO 7726 [8] define a temperatura média radiante [T_{mr}] como a temperatura uniforme de um espaço imaginário, em que as transferências de calor do corpo humano são iguais a um ambiente real não uniforme. Esta pode ser determinada, por exemplo, a partir de:

- Um termómetro de bolbo negro, a temperatura média radiante é influenciada pelo diâmetro da esfera do globo, isto é, quanto menor o diâmetro, mais baixa é a precisão dos resultados [8];
- Cálculo da temperatura plana radiante, em °C, através da relação das temperaturas das superfícies envolventes de um espaço, em relação a um indivíduo (chão, teto, à esquerda, à direita, à frente e a atrás) e fatores dependentes da posição desse mesmo indivíduo nesse lugar (posição vertical, sentado) [4];

$$T_{mr} = \frac{A(T_{pr}[cima] + T_{pr}[baixo]) + B(T_{pr}[dir.] + T_{pr}[esq.]) + C(T_{pr}[frente] + T_{pr}[trás])}{2(A + B + C)} \quad (3)$$

T_{pr} - Temperatura plana radiante [°C]

$A; B; C$ – Fatores dependentes da posição do indivíduo

De acordo com a norma ISO 7726 [8] a temperatura média radiante deverá pertencer ao intervalo entre 10 °C e 40 °C, para o conforto térmico ser garantido.

2.3.1.3. Humidade do Ar

Segundo a ISO 7726 [8], a humidade do ar pode ser quantificada através da humidade absoluta ou da humidade relativa, e deve ser considerada quando se calculam as transferências de calor no corpo humano por evaporação.

- Humidade Absoluta

A humidade absoluta caracteriza-se pela quantidade de vapor de água presente num determinado ambiente, a uma certa temperatura [8]. Quando a quantidade de vapor de água presente num determinado espaço é superior à quantidade máxima que o ar àquela temperatura suporta, existem elevados riscos de ocorrência de condensações.

- Humidade Relativa

A humidade relativa é o quociente entre a quantidade real de vapor de água (pressão de vapor de água) e a quantidade máxima (pressão de saturação) que o ar a uma determinada temperatura é capaz de suportar [8]:

$$\frac{Pa}{Pas} = HR [\%] \quad (4)$$

Pa - Pressão do vapor de água [kPa]

Pas - Pressão do vapor de água saturado [kPa]

A ISO 7726 [8] define que a pressão do vapor de água terá de se localizar entre os valores 0,5 kPa e 3,0 kPa, para o conforto térmico ser garantido.

Quanto maior a humidade relativa menores as trocas de calor por evaporação e vice-versa [9].

2.3.1.4. Velocidade do Ar

A velocidade do ar [v_a] expressa em m/s, define-se como o movimento do ar em redor do corpo humano. Deve ser tida em conta, não só, no cálculo das transferências de calor por convecção e evaporação, mas também nas situações de desconforto localizado, em fenómenos como correntes de ar e diferenças de temperatura na vertical [8].

Esta grandeza caracteriza-se pela sua direção e intensidade, e pode ser medida a partir de um anemómetro, de vários tipos, desde os mais elementares até aos mais inovadores [8].

A norma ISO 7726 [8] propõe um intervalo de valores entre 0,05 m/s e 1 m/s para a velocidade do ar, de forma a garantir-se o conforto térmico interior.

2.3.1.5. Temperatura Operativa

Por fim, é importante realçar outro parâmetro, a temperatura operativa [$^{\circ}\text{C}$], que não se encontra dentro daqueles que Fanger [2] tinha proposto, mas irá ser abordado no capítulo 2.4.2 quando se referir os modelos adaptativos para qualificar o conforto térmico.

A temperatura operativa é dependente da velocidade do ar [v_a], da temperatura média radiante [T_{mr}] e da temperatura do ar [T_a].

De acordo com a ASHRAE 55 [10], a temperatura operativa pode ser determinada pela seguinte expressão:

$$T_{op} = AT_a + (1 - A)T_{mr} \quad (5)$$

T_{op} – Temperatura Operativa [$^{\circ}\text{C}$]

T_a – Temperatura Média do Ar [$^{\circ}\text{C}$]

T_{mr} – Temperatura Média Radiante [$^{\circ}\text{C}$]

A - Parâmetro dependente da Velocidade do Ar (v_a), a partir dos valores do Quadro 1:

Quadro 1 – Valor de A a partir da v_a [10]

v_a (m/s)	< 0,2	0,2 – 0,6	0,6 – 1,0
A	0,5	0,6	0,7

De acordo com esta formulação, se a velocidade do ar for baixa (< 0,2 m/s), a temperatura operativa corresponde à média entre a temperatura do ar e a temperatura média radiante.

2.3.2. PARÂMETROS PESSOAIS

Os parâmetros pessoais que influenciam o conforto térmico são [2]:

- Metabolismo [M];
- Resistência térmica do vestuário [I_{cl}].

2.3.2.1. Taxa de Metabolismo

O metabolismo corresponde à energia calorífica produzida pelo ser humano, pode ser expressa em [met] ou [W/m^2], e é dependente do tipo de atividade que o indivíduo está a desenvolver [1]. Convertendo a unidade [met] para [W/m^2], 1 met corresponde a $58,2 W/m^2$ [11].

Para a conversão anterior a ISO 8996 [12] refere que um homem com 70kg e 1,75m e uma mulher com 60kg e 1,70m, ambos com 30 anos, possuem respetivamente $1,8 m^2$ e $1,6 m^2$ de área média corporal.

O metabolismo humano pode ser dividido em três categorias [5]:

- Metabolismo Base: aquele que permite a sobrevivência do ser humano, sendo responsável pelo funcionamento dos órgãos, por a realização de diversas atividades fisiológicas, entre outros;
- Metabolismo em Estado de Repouso: quando o indivíduo não está a realizar nenhuma atividade e se encontra em equilíbrio térmico, isto é, perfeitamente confortável com a temperatura ambiente;
- Metabolismo em Atividade: este depende da tarefa que a pessoa está a desenvolver, podendo estar associado a uma atividade de maior desgaste físico, como por exemplo correr, ou a outra de um menor esforço, tal como trabalhar no computador.

Segundo a ISO 8996 [12], existem várias possibilidades para o cálculo do valor de metabolismo no corpo humano, nomeadamente:

- Tabelas que expõem vários tipos de atividades ou profissões, desde sedentárias a outras que exigem uma maior produção de metabolismo;
- Exploração de circunstâncias mais particulares, determinando valores de tarefas com velocidades, inclinações, pesos, forças e posições específicas do ser humano;
- Cálculo da frequência cardíaca, expressando-se em número de batimentos por minuto, podendo ser obtida com recurso a aparelhos eletrónicos ou de uma maneira mais simples, contando o número de batimentos no pulso;
- Conhecimento da taxa de consumo de oxigénio pelo corpo humano, dividindo-o em dois métodos: o parcial, para atividades de carácter leve, e integral, para atividades que exigem um maior consumo de oxigénio por parte do organismo numa curta duração.

Existe, obviamente, a probabilidade de ocorrência de erros no cálculo da taxa de metabolismo. Os métodos que envolvam a determinação deste valor a partir de tabelas com resultados pré-definidos, embora sendo os de mais simples aplicação, são aqueles que têm uma maior possibilidade de obter falhas, pois o metabolismo varia consoante o indivíduo e é dependente de parâmetros como: sexo, idade, aptidão física, velocidade de execução da tarefa e características da atividade a realizar.

O cálculo da frequência cardíaca e o conhecimento da taxa de oxigénio têm uma hipótese mais reduzida de aparecimento de erros, mas são de aplicação mais complexa [12].

2.3.2.2. Resistência Térmica do Vestuário

A resistência térmica do vestuário [I_{cl}], pode ser expressa em unidades [clo] ou [$m^2.K/W$], e define o isolamento térmico do vestuário em relação à superfície da pele do indivíduo. A conversão entre [clo] e [$m^2.K/W$] é de $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$, que na realidade corresponde à resistência térmica de um fato do tipo casual para homem [4].

No anexo C da norma ISO 7730 [11] e na ASHRAE 55 [10] estão descritas algumas formas usadas para a obtenção do valor de I_{cl} . O resultado pode ser calculado de acordo com: tabelas que têm um conjunto de roupas pré-definidas, apropriadas para uma dada atividade, ou através do somatório das resistências térmicas individuais de cada uma das peças de vestuário.

Os valores expostos nos quadros abordados anteriormente são estimados, podendo estar sujeitos a erros. No conjunto de roupas pré-definidas, existe um maior risco de falta de precisão do resultado do que quando se somam as peças individualmente. Contudo, a mesma peça de roupa pode ser composta por vários tipos de materiais, e por isso ter resistências térmicas diferentes.

2.3.3. OUTROS FATORES QUE INFLUENCIAM O CONFORTO TÉRMICO

De acordo com Fanger [2], poderão existir outros parâmetros que intervêm no conforto térmico além dos mencionados nos subcapítulos anteriores. Na perspetiva deste autor os seguintes fatores podem ter influência na sensação térmica interior:

- Género;
- Idade;
- Naturalidade;
- Ciclo Menstrual;
- Comida;
- Etnias diferentes.

Fanger [2] realizou um estudo na perspetiva de avaliar a influência destes parâmetros no conforto térmico dos indivíduos. Analisando dois grupos constituídos simultaneamente por elementos do sexo masculino e feminino, com idades médias de 23, o 1º grupo e 68 anos, o 2º grupo, naturais da Dinamarca. Estes indivíduos foram comparados com outros dois grupos pertencentes a um estudo efetuado com um aglomerado de população proveniente dos Estados Unidos da América, com as mesmas características pessoais mencionadas previamente. Os cidadãos dinamarqueses foram expostos a idênticas condições ambientais e pessoais que os cidadãos americanos.

Os resultados para todos os fatores foram inconclusivos, não se verificando diferenças, em cada parâmetro, nos diferentes grupos.

A principal conclusão que se pode retirar com o estudo é que estes fatores têm uma influência no ser humano de uma forma subjetiva, podendo ser a explicação pelo conforto/desconforto de certos indivíduos em algumas situações, como podem não ter qualquer relevância noutras.

2.4. ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO

2.4.1. MODELO ANALÍTICO

O modelo analítico de análise do conforto térmico é baseado na determinação de dois índices, o PMV e o PPD, propostos por Fanger [2]. Para a obtenção do PMV, Fanger [2] recorreu a um conjunto de en-

saio, com recurso a pessoas, tendo em conta os seguintes parâmetros: a temperatura do ar [T_a], a velocidade do ar [v_a], a temperatura média radiante [T_{mr}], a humidade relativa [HR], a taxa metabólica [M] e a resistência térmica do vestuário [I_{cl}]. Os participantes expressavam a sua sensação térmica através da votação na escala de conforto indicada no Quadro 2.

O PMV (Predicted Mean Vote) ou voto médio previsível, em português, caracteriza-se então, pela avaliação do conforto térmico de um espaço, a partir da determinação de fatores ambientais e pessoais.

O PMV é definido pela escala do Quadro 2:

Quadro 2 - Escala de Conforto Térmico ([10], [11])

PMV	Escala Conforto Térmico
+ 3	Muito Quente
+ 2	Quente
+ 1	Ligeiramente Quente
0	Neutro/Confortável
- 1	Ligeiramente Frio
- 2	Frio
- 3	Muito Frio

A escala varia entre -3 e +3, correspondendo os valores positivos à sensação de calor e os negativos à sensação de frio. O valor 0 significa uma perceção neutra, isto é, o ambiente não está frio nem quente, caracterizando-se como apropriado para o local.

A determinação do índice de conforto térmico, PMV, pode ser feita de acordo com [11]:

- A equação, expressa na norma ISO 7730 [11], dependente dos parâmetros ambientais e pessoais, abordados nos capítulos 2.3.1. e 2.3.2;
- O Anexo E da referida norma ISO, em que o valor é obtido diretamente de tabelas, em função dos seguintes parâmetros: a velocidade do ar [m/s], o metabolismo humano [met], a resistência térmica da roupa [clo] e a temperatura operativa [°C]. Estas tabelas são válidas apenas quando a HR=50%.

O PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) corresponde à percentagem previsível de indivíduos insatisfeitos com o ambiente onde estão inseridos. Esta avaliação é dependente do cálculo do PMV (Predicted Mean Vote) e pode ser obtida a partir da seguinte equação:

$$PPD = 100 - 95e^{-0,03353 \times PMV^4 - 0,2179 \times PMV^2} \quad (6)$$

Pela análise da Figura 2, que mostra a relação entre o PMV e o PPD, observa-se que para um PMV= 0, isto é, uma sensação térmica neutra, o PPD, é igual a 5%, ou seja, de acordo com este modelo, haverá sempre alguém insatisfeito.

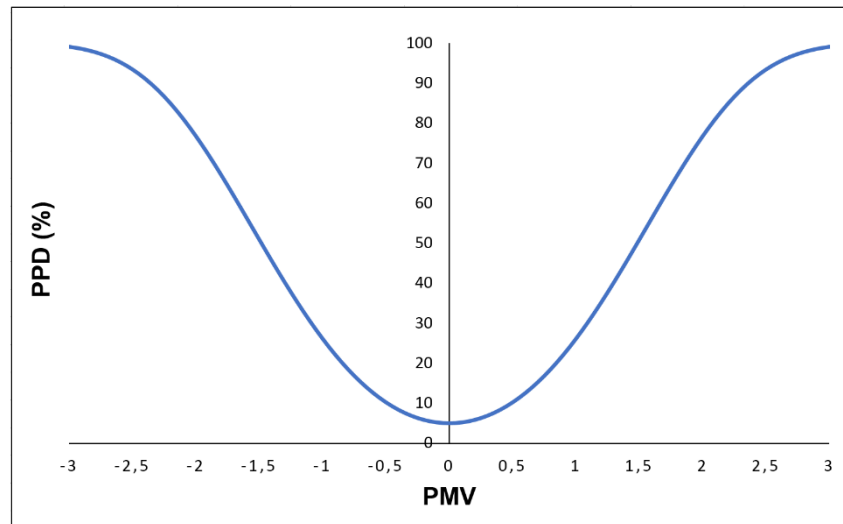


Figura 2 – Modelo Analítico (Adaptado de [11])

O PMV e o PPD analisam o conforto térmico global do corpo humano, não se debruçando sobre nenhuma parte deste em particular. O desconforto térmico localizado irá ser abordado no capítulo 2.5.

A norma ISO 7730 [11] utiliza os índices de PMV e PPD para classificar o conforto térmico em três categorias:

- Categoria A: Nível de exigência térmica alta, nomeadamente edifícios com permanência de pessoas sensíveis, tais como: crianças, idosos, doentes ou com algum tipo de deficiência;
- Categoria B: Nível de exigência térmica normal, edifícios novos e reabilitados;
- Categoria C: Nível de exigência térmica aceitável, edifícios já existentes.

Os limites de cada categoria, mencionados no Quadro 3, têm de ser cumpridos em simultâneo [11].

Quadro 3 – Divisão do conforto térmico global por categorias [11]

Categoria	Conforto Térmico Global do Corpo Humano	
	PPD (%)	PMV
A	< 6	$-0,2 < PMV < +0,2$
B	< 10	$-0,5 < PMV < +0,5$
C	< 15	$-0,7 < PMV < +0,7$

Apesar da categoria A ser aquela que apresenta um ambiente interior mais próximo do neutro e logo uma menor percentagem de indivíduos insatisfeitos, a ASHRAE 55 [10] define como condição a cumprir para um conforto térmico interno $-0,5 < PMV < +0,5$. Correspondendo a uma percentagem inferior a 10% de pessoas descontentes [PPD], e, portanto, categoria B da classificação da norma ISO 7730 [11].

2.4.2. MODELOS ADAPTATIVOS

O modelo adaptativo é uma das formas alternativas de avaliação do conforto térmico. O termo adaptativo traduz as formas do ser humano se adaptar a um ambiente interior, ou vice-versa (Figura 3). Ao

contrário do modelo analítico, o adaptativo baseia-se em estudos de acordo com a medição de parâmetros ambientais e inquéritos aos cidadãos [3].

Existem três tipos de categorias para a adaptação de um indivíduo a um determinado clima interior [13]:

- Adaptação Comportamental: A adaptação comportamental do ser humano poderá ser de nível pessoal (o vestuário, o tipo de atividade a desenvolver, tipo de alimentação, entre outros), ou controlando o seu espaço em redor (abrir/fechar janelas, ligar/desligar o sistema de aquecimento/arrefecimento);
- Adaptação Fisiológica: Mudanças no sistema de termorregulação do corpo humano devido ao clima interior, isto é, alterações na resposta do sistema de regulação da temperatura corporal;
- Adaptação Psicológica: A presença simultânea de um indivíduo num determinado espaço resulta numa adaptação térmica a este, diminuindo as sensações de desconforto.

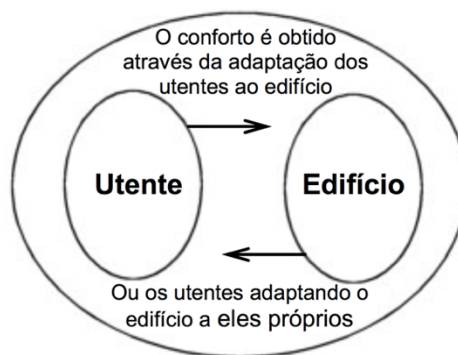


Figura 3 – Adaptação térmica entre o utente e o edifício [3]

O seguinte modelo adaptativo, proposto pela ASHRAE 55 [10], determina as condições térmicas aceitáveis para espaços interiores, sem meios mecânicos de arrefecimento, através do gráfico seguinte (Figura 4):

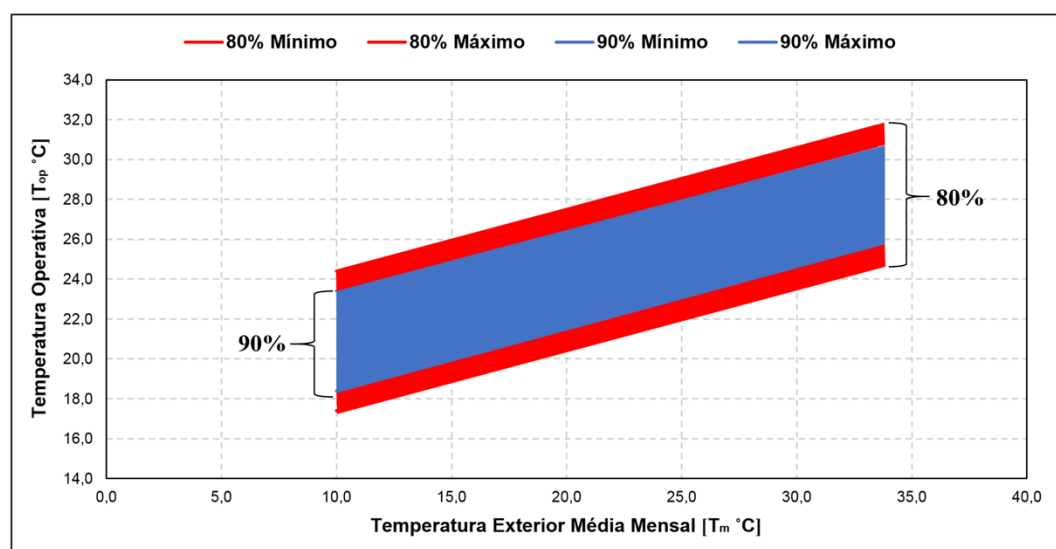


Figura 4 – Modelo adaptativo para avaliação do conforto térmico (Adaptado de [10])

Este modelo relaciona a temperatura operativa de conforto [T_{oc} em °C], com a temperatura exterior média mensal [T_m em °C]. O modelo sugere duas regiões de conforto, uma mais estreita correspondendo a uma aceitação do ambiente térmico por parte de 90% dos ocupantes de um espaço, e outra, mais extensa, em que esta percentagem desce para 80%.

O método define as seguintes exigências para a sua aplicação: a taxa de metabolismo terá de se encontrar entre o intervalo 1,0 e 1,3 [met], a resistência térmica do vestuário entre 0,5 e 1,0 [clo] e por último, a temperatura exterior média mensal tem de ser superior a 10°C e inferior a 33,5°C [10].

O modelo segue a formulação proposta por Brager et. al [14]:

$$T_{oc} = 0,31T_m + 17,8 \quad (7)$$

T_{oc} – Temperatura Operativa de Conforto [°C]

T_m – Temperatura Exterior Média Mensal [°C]

A norma EN 15251 [15] sugere um outro modelo de avaliação das condições de conforto interior, através da seguinte equação que relaciona a temperatura operativa de conforto com a temperatura exterior exponencialmente ponderada:

$$T_{oc} = 0,33T_{mp} + 18,8 \quad (8)$$

T_{oc} – Temperatura Operativa de Conforto [°C]

T_{mp} – Temperatura Exterior Exponencialmente Ponderada [°C]

A temperatura exterior exponencialmente ponderada pode ser calculada a partir da fórmula:

$$T_{mp} = \frac{T_{n-1} + 0,8 \times T_{n-2} + 0,6 \times T_{n-3} + 0,5 \times T_{n-4} + 0,4 \times T_{n-5} + 0,3 \times T_{n-6} + 0,2 \times T_{n-7}}{3,8} \quad (9)$$

T_{mp} - Temperatura Exterior Exponencialmente Ponderada [°C]

$T_n - i$ - Temperatura Média Exterior dia i anterior [°C]

Este modelo é aplicável em locais sem sistemas de arrefecimento mecânico (aplicados no caso do verão), onde a atividade das pessoas presentes no espaço em análise for sedentária, com taxas metabólicas entre 1,0 e 1,3 met [15]. O modelo apresentado na Figura 5, sugere ainda três categorias de conforto: a categoria 1 corresponde a uma variação de ± 2 °C, em relação à temperatura operativa de conforto, a categoria 2 de ± 3 °C e a categoria 3 de ± 4 °C.

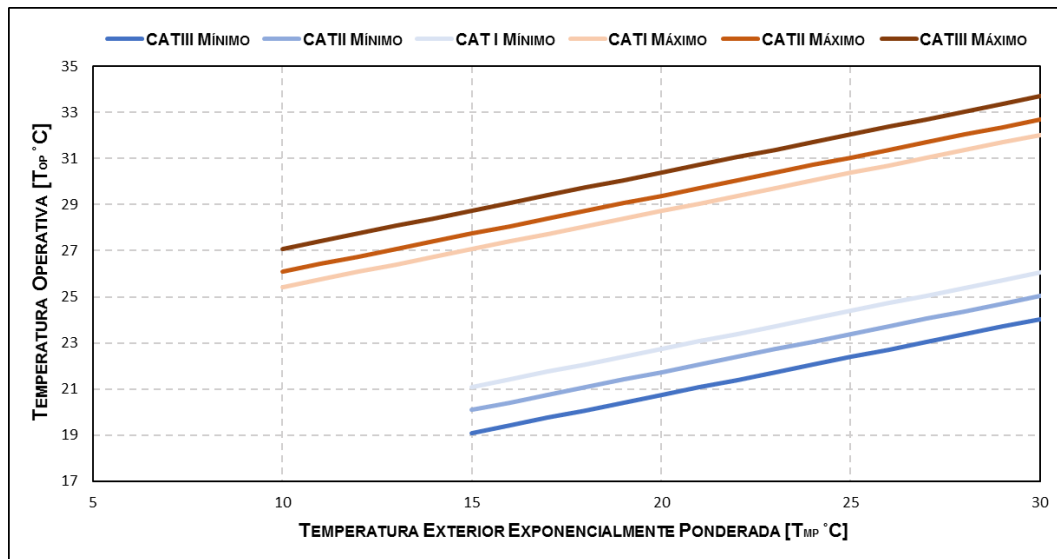


Figura 5 - Modelo adaptativo para avaliação do conforto térmico (Adaptado de [15])

O modelo desenvolvido por Matias [3], no âmbito da sua dissertação de doutoramento elaborada no LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil), apresenta as condições de conforto térmico admissíveis para edifícios em Portugal. Para a obtenção deste modelo foram efetuadas medições, durante dois anos, de parâmetros ambientais e inquéritos aos ocupantes de 9 edifícios de escritórios, 6 de ensino, 4 de habitação multifamiliar e 21 lares de idosos. Este encontra-se evidenciado na Figura 6.

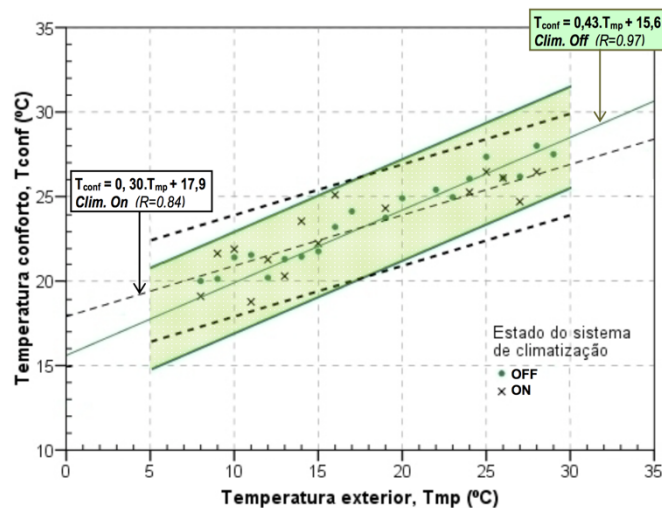


Figura 6 – Modelo adaptativo para avaliação do conforto térmico [3]

O gráfico da Figura 6 mostra a relação entre a temperatura exterior e a temperatura operativa de conforto. Como se verifica, são representadas duas regressões lineares, assim como a região admissível para condições de conforto de espaços com sistemas de climatização e a região para locais com sistemas de climatização desligados ou sem sistemas de climatização [3].

As equações para a temperatura de conforto nas diversas situações são deduzidas a partir da análise das temperaturas de neutralidade e de preferência obtidas nos inquéritos aos indivíduos presentes nos espaços das medições.

O presente modelo só é válido, se os parâmetros expressos no Quadro 4, se encontrarem dentro dos seguintes limites:

Quadro 4 – Intervalos de valores admissíveis para o modelo Matias [3]

Taxa de Metabolismo [M]	1,0 - 1,3 met
Resistência Térmica do Vestuário [I_{cl}]	0,4 clo – Verão; 1,4 clo - Inverno
Velocidade do Ar [v_a]	0 – 0,6 m/s
Temperatura Operativa Interior [T_{op}]	10 °C – 35 °C
Temperatura Exterior Exponencialmente Ponderada [T_{mp}]	5 °C – 30 °C

2.4.3. OUTRAS FORMAS DE AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO

Em alternativa aos métodos abordados nos capítulos anteriores, analítico e adaptativos, existem outras formas de avaliação do conforto térmico, tais como:

- Método gráfico para avaliação de conforto térmico;
- Determinação da temperatura efetiva;
- Determinação da temperatura resultante;
- RWI - Relative Warmth Index.

A ASHRAE 55 [10] explicita um método de avaliação do conforto térmico, através de um diagrama psicométrico que delimita a zona ideal de conforto para os ocupantes de um determinado lugar (Figura 7). Essa zona é definida por intervalos de valores de: taxa de metabolismo entre 1,0 e 1,3 met, resistência térmica da roupa entre 0,5 e 1,0 clo e velocidade do ar inferior a 0,2 m/s.

A temperatura efetiva [ET] representa a combinação de diferentes valores de velocidade do ar, humidade relativa e temperatura do ar ambiente (temperatura de bolbo seco), para as mesmas condições de conforto térmico. A relação das variáveis anteriores pode ser expressa pelo nomograma da Figura 8 a) [4].

Posteriormente realizou-se uma correção para a temperatura efetiva [CET] através da substituição da variável temperatura do ar pela temperatura de globo negro, introduzindo assim o parâmetro da radiação [4].

A temperatura resultante é proposta em 1960, por Missenard, a partir de uma correção ao parâmetro da radiação da temperatura efetiva. Tal como a última esta temperatura pode ser obtida segundo o nomograma da Figura 8 b) [4].

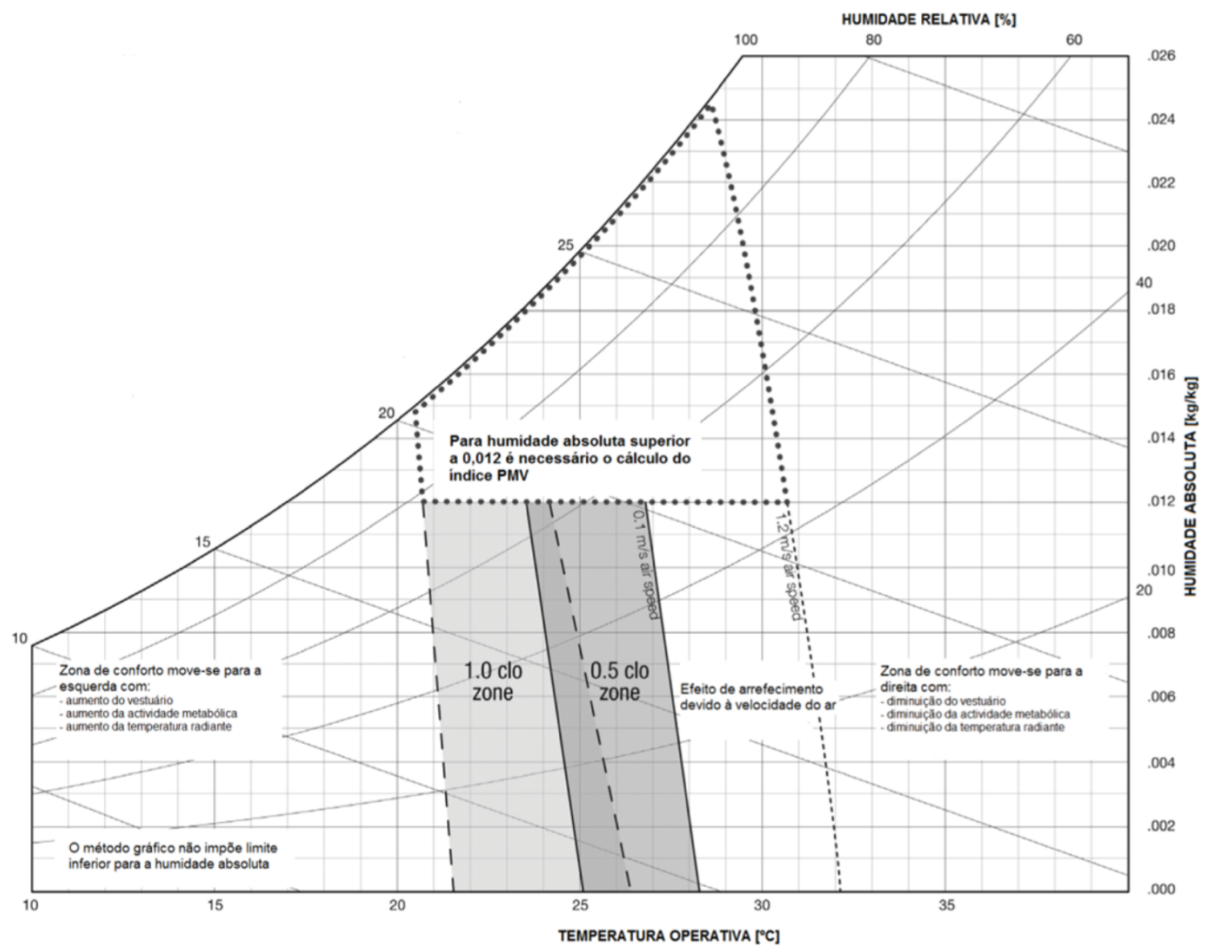


Figura 7 – Método gráfico para avaliação de conforto térmico [9]

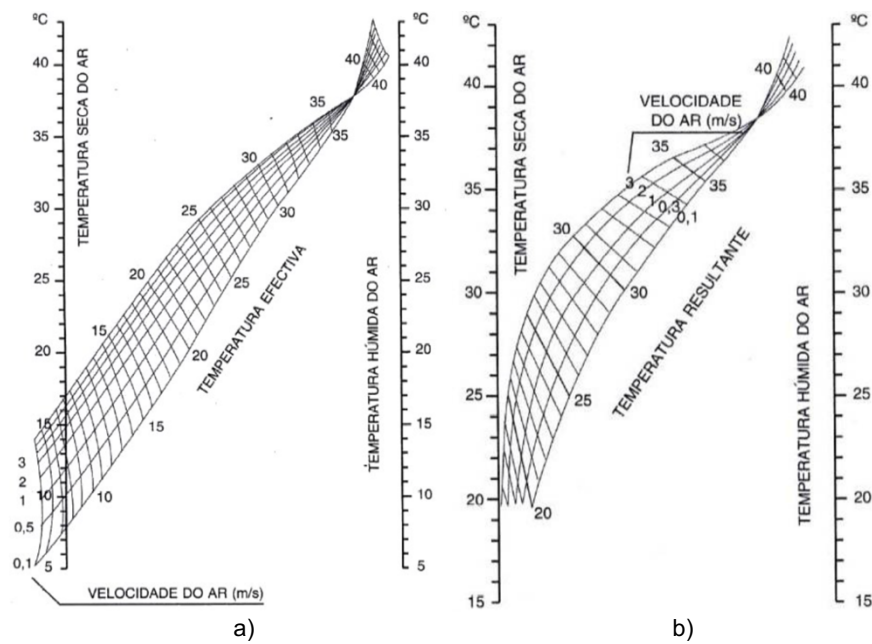


Figura 8 – Nomograma temperatura efetiva, a), e resultante, b) [3]

O RWI (Relative Warmth Index) é um índice para avaliação do conforto térmico em estações subterrâneas, nomeadamente de metro ou comboio. A escala que este índice propõe encontra-se explicitada no Quadro 5 [16].

Quadro 5 – Escala conforto térmico RWI [16]

Escala Conforto Térmico	RWI
Quente	0,25
Ligeiramente Quente	0,15
Neutro/Confortável	0,08
Ligeiramente Frio	0,00

O RWI representa a combinação de vários parâmetros, tais como: a velocidade do ar, a humidade relativa, a temperatura do ar, a taxa de metabolismo e a resistência térmica do vestuário.

2.5. DESCONFORTO TÉRMICO LOCALIZADO

Fanger [2] para além das condições propostas como exigências de conforto térmico, acrescentou uma quarta condição relacionada com a inexistência de desconforto térmico localizado [4]. Esta expressa a insatisfação de um indivíduo, face ao ambiente interior onde está inserido, em relação a uma parte específica do seu corpo [11].

O desconforto térmico localizado pode ser causado por [11]:

- Corrente de ar;
- Assimetria de temperatura radiante;
- Diferença de temperatura na vertical;
- Pavimento demasiado quente ou frio.

2.5.1. CORRENTE DE AR

Uma situação bastante frequente na maior parte dos espaços interiores, é o facto de a abertura de janelas ou portas em simultâneo permitir que ocorra passagem de uma grande quantidade de fluxo de ar (corrente de ar), levando a que haja um desconforto térmico para os indivíduos que se encontram dentro de determinados locais [4].

A norma ISO 7730 [11] apresenta uma hipótese de cálculo, através da determinação da taxa de corrente de ar [DR] num determinado ambiente. Esta taxa é direccionada para indivíduos com atividades sedentárias (estilo de vida/profissão) e com desconforto em zonas do corpo que não se encontram cobertas por roupa, nomeadamente o pescoço.

$$DR = (34 - T_a)(V_a - 0.05)^{0.62} (0.37V_aT_u + 3.14) \quad (10)$$

O índice DR só é válido se: a temperatura do ar [T_a] estiver entre 20°C e 26°C, a velocidade do ar [V_a] menor que 0.5 m/s e a intensidade de turbulência do ar [T_u] entre 10% e 60%. Sendo que se não for possível determinar rigorosamente este último parâmetro, pode assumir-se como 40% [11].

2.5.2. ASSIMETRIA DE TEMPERATURA RADIANTE

A assimetria de temperatura radiante (Δt_{pr}), pode ser definida pela diferença de temperatura radiante entre 2 planos opostos. Estas situações verificam-se, na realidade, quando há exposição do indivíduo a uma fonte contínua de aquecimento ou arrefecimento, como por exemplo, a um forno, radiação solar direta, parede fria/quente ou janela fria/quente [4].

A Figura 9 expressa o gráfico de relação entre a diferença de temperatura radiante (Δt_{pr}) e a percentagem de insatisfação de um grupo de pessoas (PD), em situações de paredes quentes/frias e tetos quentes/frios.

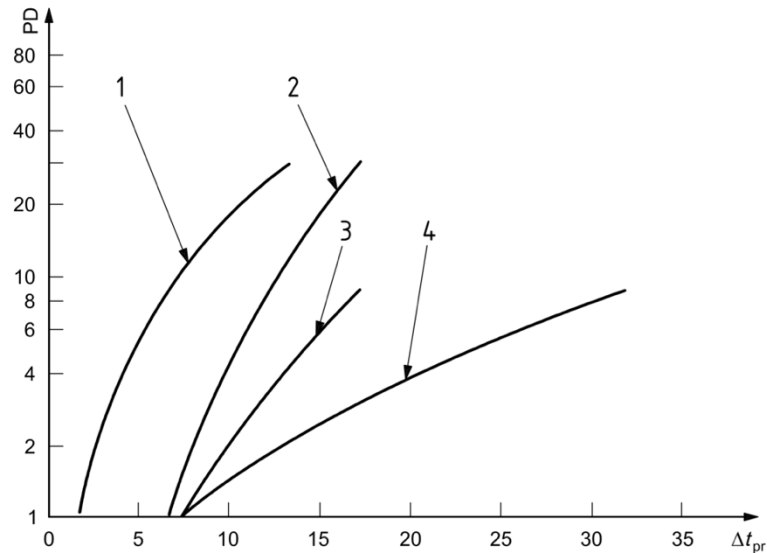


Figura 9 – Assimetria de Temperatura Radiante [11]

2.5.3. DIFERENÇA DE TEMPERATURA NA VERTICAL

Muitas vezes, quando o ser humano sente desconforto térmico deve-se ao facto de estar perante diferenças de temperatura na vertical, isto é, sentir uma temperatura diferente entre duas partes do seu corpo. Sendo que geralmente essa variação verifica-se ao nível da cabeça e dos pés (temperatura mais elevada ao nível da cabeça e mais baixa ao nível dos pés). A presença de passagens de ar nas portas ou janelas pode ser uma causa desta sensação de desconforto [4].

A percentagem de insatisfação dos utilizadores de um local pode ser calculada a partir da fórmula seguinte [11]:

$$PD = \frac{100}{1 + e^{5,76 - 0,856 \cdot \Delta t_{a,v}}} \quad (11)$$

$\Delta t_{a,v}$ – Diferença de temperatura vertical do ar entre a cabeça e os pés [°C]

A equação anterior deve ser utilizada quando o valor de $\Delta t_{a,v} < 8^\circ\text{C}$ [11].

O gráfico da Figura 10 mostra a relação entre o PD (percentagem de pessoas insatisfeitas) e o $\Delta t_{a,v}$ (diferença de temperatura vertical do ar entre a cabeça e os pés, °C).

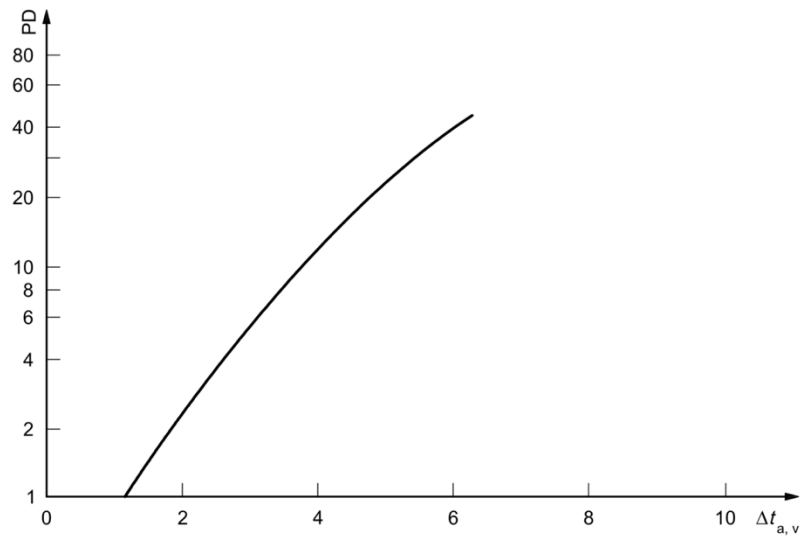


Figura 10 – Diferença de temperatura na vertical [11]

2.5.4. PAVIMENTO DEMASIADO QUENTE OU FRIO

A temperatura do pavimento é uma das causas de desconforto localizado, uma vez que os indivíduos podem manifestar insatisfação quando o pavimento se encontra excessivamente quente ou frio. Materiais como madeira e têxteis consideram-se mais confortáveis em estações em que é necessário o aquecimento do ambiente interior e, por exemplo, revestimentos cerâmicos exibem um maior conforto em circunstâncias onde é fundamental o arrefecimento. O tipo de pavimento pode não influenciar o conforto térmico localizado quando os indivíduos se encontram calçados, visto que se os sapatos forem adequados para o contexto, é pouco provável que sintam desconforto [4].

A fórmula 12 e o gráfico da Figura 11 expressam a relação entre PD (insatisfação pessoal) e a temperatura do pavimento (T_f).

$$PD = 100 - 94e^{-1,387+0,118t_f-0,0025T_f^2} \quad (12)$$

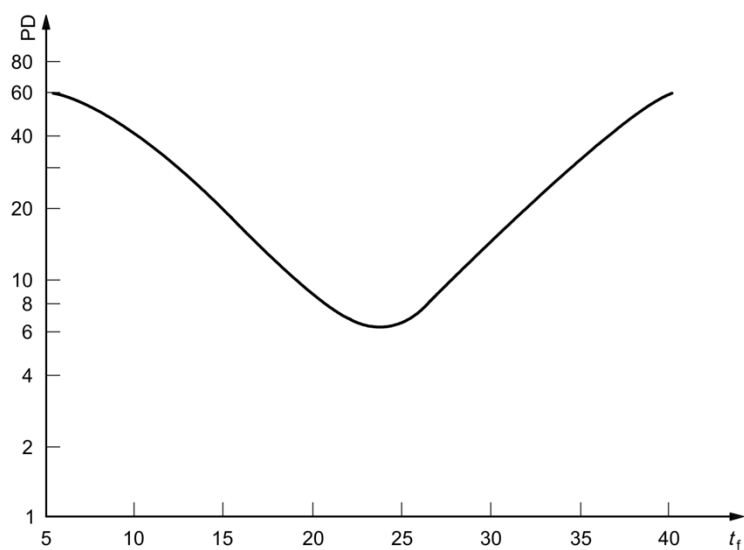


Figura 11 – Pavimento demasiado quente ou frio [11]

2.5.5. SÍNTESE

O Quadro 6 subdivide em três categorias os parâmetros correspondentes ao desconforto térmico localizado. Os valores da categoria B estão em concordância com a condição, $-0,5 < PMV < +0,5$, que a ASHRAE 55 [10] define a ser cumprida para se garantir um conforto térmico interior.

Quadro 6 – Divisão do desconforto térmico localizado por categorias [11]

Categoria	Desconforto Térmico Localizado			
	DR (%)		PD (%)	
	Corrente de Ar	Diferença de Temperatura na Vertical	Pavimento Demasiado Quente ou Frio	Assimetria de Temperatura Radiante
A	< 10	< 3	< 10	< 5
B	< 20	< 5	< 10	< 5
C	< 30	< 10	< 15	< 10

2.6. ESTUDOS REALIZADOS

A presente dissertação tem como objetivo base a avaliação do conforto térmico de edifícios em dois terminais de passageiros de navios na região do Porto. Por isso é relevante salientar alguns estudos desta natureza, que foram realizados noutros países. Esses estudos não se focaram diretamente em terminais de navios. Outros locais como estações de autocarros, comboios ou de metro são alguns exemplos onde já se procederam a estas medições.

- Em 2012, as estações subterrâneas de Syntagma e Doukissis Plakentias, e algumas carruagens de uma linha do metro em Atenas, na Grécia, foram alvo de um estudo, por parte de Katavoutas et. al [17], para a verificação das condições de conforto térmico, usando os índices PMV e PPD. Os ensaios foram realizados durante os meses de junho, julho e agosto, e efetuaram-se medições durante vários momentos do dia.

É fundamental referir que o metropolitano possui várias linhas, a diferentes cotas, abaixo do plano de referência, no interior da mesma estação. Syntagma, contém a linha 3 (linha em análise) a maior profundidade do que a estação de Doukissis Plakentias.

Os resultados obtidos foram os seguintes: em termos de PMV existe uma maior variação, em função do tempo, na estação de Dourkissis Plakentias do que em Syntagma, como se verifica no gráfico da Figura 12, com um valor médio de 1,7 e 2,6 respetivamente. O PPD apresenta uma percentagem de 63% para a estação mais profunda (Syntagma) e 91,5% para a estação mais próxima do plano de referência (Doukissis Plakentias). Concluiu-se que se verificava um maior desconforto térmico na estação de Doukissis Plankentias do que em Syntagma.

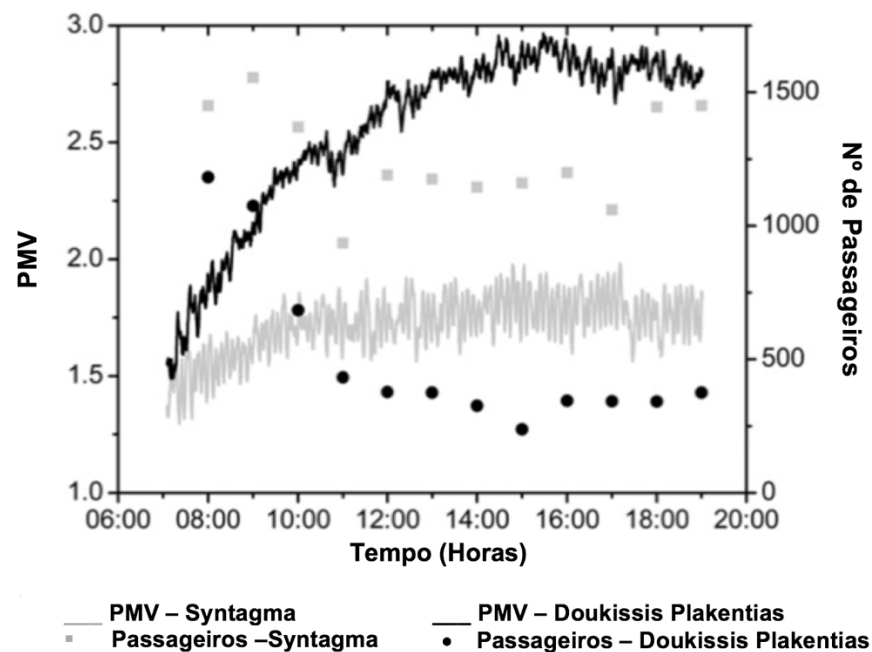


Figura 12 – Variação do PMV nas estações Syntagma e Doukissis Plakentias
(Adaptado de [17])

- Um estudo semelhante foi realizado em Budapeste, na Hungria, em estações de metro subterrâneas. O objetivo consistia na medição dos índices PMV e PPD nos cais de espera dos passageiros, no inverno e no verão [18].

O índice PMV, no inverno variou entre 0 e -1,4, e, no verão entre 0 e +1,4, concluindo-se assim, através da escala proposta por Fanger [2], que o ambiente se classifica como neutro/confortável a ligeiramente frio no Inverno e neutro/confortável a ligeiramente quente no caso do Verão. O PPD apresentava uma variação de 5% a 30%, porém, segundo o autor, houve um momento em que este aumentou para cerca de 80 % devido à chegada de várias carruagens de metro em simultâneo, elevando os valores de velocidade do ar no interior da estação [18].

Em relação à temperatura do ar no interior do túnel, verificou-se que esta não possui uma variação significativa com a modificação da temperatura do ar exterior, mantendo-se num intervalo de alternância de cerca de 5 °C, tal como está explícito no gráfico da Figura 13 [18].

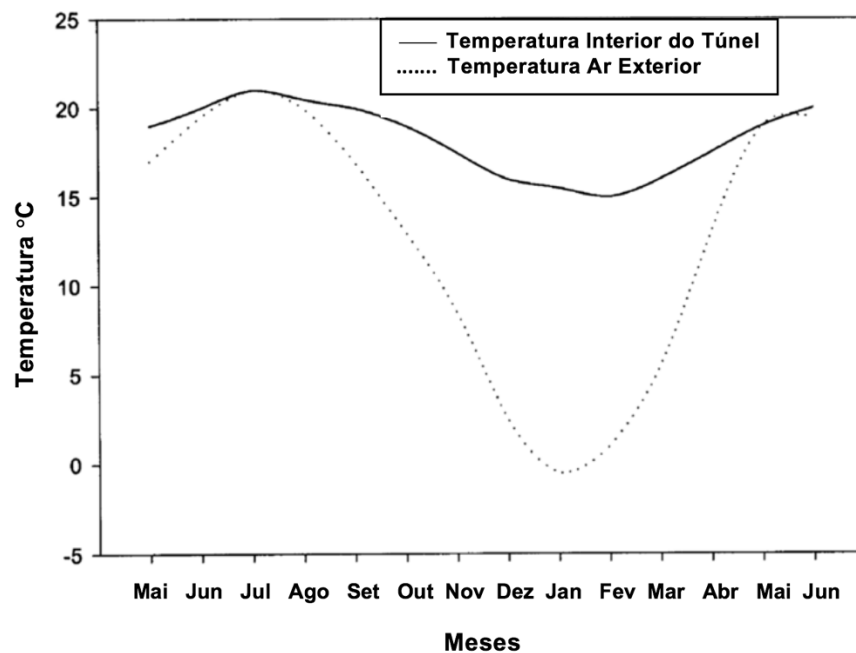


Figura 13 – Variação da temperatura do túnel de metro em função da temperatura exterior (Adaptado de [18])

- A seguinte análise foi executada nos meses de setembro de 2006 e julho de 2007, por Abbaspour et. al [16], no metropolitano de Teerão, no Irão. As medições sucederam-se em 6 estações e a diferença de quase um ano entre os dois períodos deveu-se ao facto, segundo o autor, de representarem alturas importantes. No mês de julho, durante o verão, o principal objetivo foi verificar o funcionamento do sistema de ar condicionado e ventilação do espaço, para averiguar se eram garantidas as condições de conforto térmico dos passageiros. O mês de setembro, representa o fim das férias para trabalhadores/estudantes e o seu regresso ao trabalho/escola, e por esse motivo a afluência aos transportes públicos é maior.

A classificação do conforto térmico foi obtida com recurso ao cálculo do índice RWI, exposto no capítulo 2.4.3. da presente dissertação.

As medições realizaram-se na zona de entrada da estação, na área de aquisição de bilhetes (Hall), na plataforma de espera, nas carruagens e na cabine do condutor.

Os resultados obtidos em termos de conforto térmico nesses locais estão sintetizados na Figura 14.

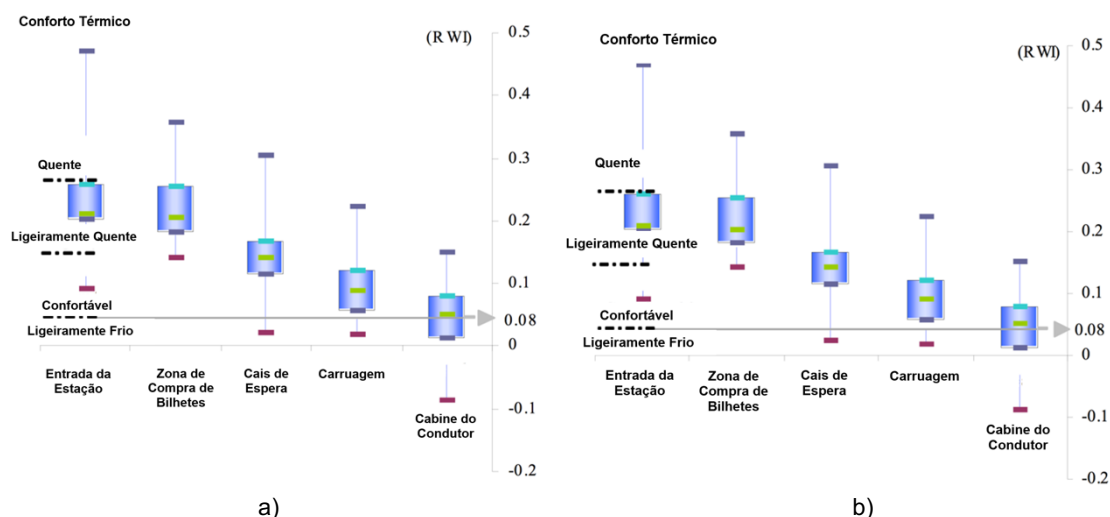


Figura 14 – Distribuição dos resultados de conforto térmico nos meses de Setembro de 2006, a), e Julho de 2007, b) (Adaptado de [16])

Os valores atingidos nos meses de setembro de 2006 e julho de 2007 foram semelhantes e verificou-se, para a escala proposta por RWI, na entrada e na área de aquisição de bilhetes da estação, o ambiente classifica-se como ligeiramente quente a quente, tal como está expresso nos gráficos da Figura 14 a) e b).

Em relação às plataformas de espera, os números obtidos são inferiores aos abordados previamente. Porém a mediana, expressa na box plot, corresponde aproximadamente ao valor que o índice RWI propõe para um espaço ligeiramente quente. Deduzindo-se assim que apesar de haver uma melhor sensação térmica, em relação aos anteriores, que não estão garantidas as condições de conforto térmico.

- Kotopouleas e Nikolopoulou [19] efetuaram uma investigação em três aeroportos do Reino Unido, um deles no terminal de Londres (LCY) e os outros dois em terminais de Manchester (MAN T1 e MAN T2), com o objetivo de avaliar as condições de conforto térmico dos passageiros e dos funcionários. Os ensaios decorreram nos meses de inverno e verão, nos anos de 2012 e 2013, e foram distribuídos simultaneamente, durante as medições, inquéritos aos indivíduos presentes nesses espaços (passageiros e funcionários).

As grandezas medidas foram a temperatura do ar, a velocidade do ar, a humidade relativa, a temperatura de globo negro e a concentração de dióxido de carbono presente no ar interior.

Os locais dos terminais de aeroporto que foram alvo de análise são: os balcões de check-in, as zonas de embarque e desembarque, as alfândegas (salas de revista de passageiros) e as áreas de recolha de bagagens.

A partir da análise da Figura 15, averiguou-se que não houve um consenso em relação às preferências de sensação térmica entre os passageiros e os funcionários. Os funcionários mostraram-se mais insatisfeitos que os passageiros, com o ambiente térmico, em todos os terminais em estudo. Devido a este facto obteve-se um intervalo mais estreito de temperaturas operativas de conforto para os funcionários do que para os passageiros.

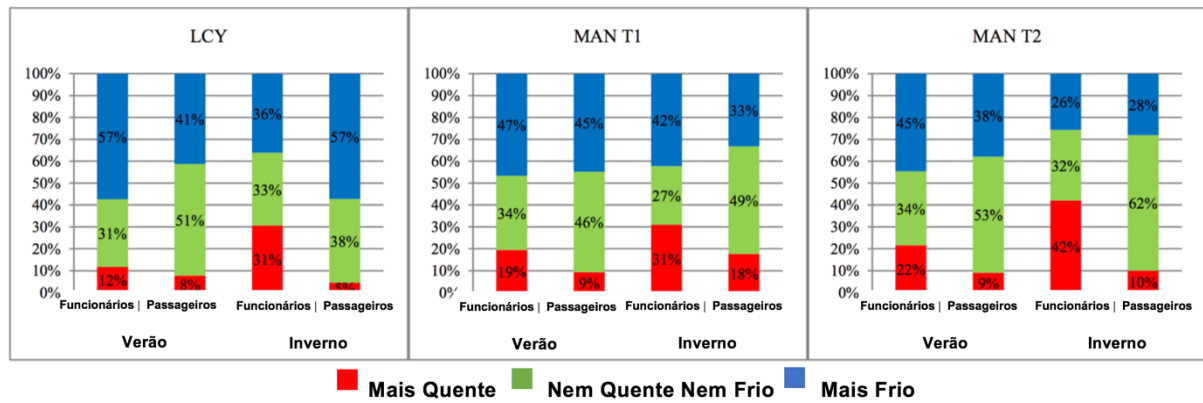


Figura 15 – Resultados dos inquéritos aos utilizadores nos três terminais (Adaptado de [19])

3

METODOLOGIA

3.1. OBJETIVO

A presente dissertação tem como principal objetivo a avaliação do conforto térmico em dois terminais de cruzeiros da APDL - Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo. Essa avaliação foi feita a partir da medição de parâmetros ambientais, com recurso ao aparelho *Thermal Microclimate HD32.1*. Durante o decorrer dos ensaios, foram distribuídos inquéritos aos passageiros de forma a perceber não só qual era a sua perceção térmica, bem como para a determinação de parâmetros pessoais. No final procedeu-se à comparação dos resultados das medições com os dos inquéritos, de maneira a poder retirar conclusões sobre as condições de conforto térmico naqueles espaços.

3.2. ENQUADRAMENTO HISTÓRICO

A construção do Porto de Leixões, foi iniciada no final do século XIX, mais precisamente no dia 13 de Julho de 1884. O projeto é da responsabilidade de Sir John Coode e Afonso Joaquim Nogueira Soares que em 1881 e 1878, respetivamente, apresentaram cada um a sua proposta. Em 1883 a versão final viria a ser aprovada pelo governo. Quando se iniciaram as obras, a ideia era a implantação de um porto artificial apenas para ser um ponto de paragem de algumas embarcações. Este era inicialmente constituído por dois paredões no lado norte e sul e por um quebra-mar prolongando o lado norte. A estrutura portuária viria a ser finalizada em Fevereiro de 1895 [20].

No século XX, devido ao aumento da procura do porto, houve a necessidade da sua ampliação e transformação num porto comercial. Em 1914 iniciou-se o aumento do molhe sul que apenas foi finalizado em 1931, devido à falta de recursos económicos e a fenómenos como a primeira guerra mundial. A partir de 1932 começou a construção da Doca nº 1, seguindo-se a Doca nº 2 em 1956 e o aumento de armazéns, viadutos e a ponte móvel entre Matosinhos e Leça da Palmeira. A implantação de um terminal para contentores e a construção de mais duas docas (nº 3 e nº 4), iniciaram-se nos anos 70. Na década de 90 construiu-se uma marina para embarcações desportivas [20].

Atualmente, o Porto de Leixões é composto por diversas infraestruturas, tais como [21]:

- Cais Convencionais de Carga Geral e Granéis Sólidos;
- Cais de Movimentação de Granéis Líquidos;
- Terminal de Petroleiros;
- Terminal de Contentores;
- Terminal Ro-Ro;
- Terminal Multiusos;

- Terminal de Cruzeiros;
- Doca de Recreio;
- Porto de Pesca;
- Instalações Especializadas – Silos, Depósitos e Armazéns.

3.3. ENQUADRAMENTO – ENSAIOS

As medições *in situ* foram realizadas nos seguintes terminais de cruzeiros: estação de passageiros na Doca nº 1 Norte em Leça da Palmeira e terminal de cruzeiros Sul em Matosinhos (Figura 16).

A estação de passageiros na Doca nº 1, teve como arquitetos responsáveis Tito Figueiredo e Jorge Gigante e foi inaugurada em Abril de 1961, tendo sido alvo de uma intervenção de reabilitação no presente século. Tem um cais de 300 m de comprimento e por isso capacidade máxima para receber navios com 250 m. Uma das particularidades do edifício é ser feito em madeira, sendo assim considerado património arquitetónico e histórico da cidade de Matosinhos [21]. A estação de passageiros é constituída por dois pisos: no piso 0 a zona de passagem de passageiros e no piso 1 um restaurante aberto ao público em geral.

O terminal de cruzeiros sul, foi considerado o melhor edifício público do ano de 2017, pelo site de arquitetura internacional ArchDaily. Inaugurado em Abril de 2011, é uma obra da autoria do arquiteto Luís Pedro Silva e tem capacidade para aproximadamente 2500 passageiros. O comprimento do cais é de 340 m e por isso tem a possibilidade receber navios maiores que a Doca nº 1 Norte. No edifício, para além de terminal de cruzeiros, funciona a sede do CIIMAR – Centro Interdisciplinar de Investigação Marinha da Universidade do Porto e o Parque de Ciência e Tecnologias do Mar da Universidade do Porto [21]. No total o edifício é constituído por quatro pisos (Figura 18): o piso -1 (cave), o piso 0 (entrada/receção), o piso 1 (zona de embarque/desembarque de passageiros), o piso 2 (CIIMAR), e o piso 3 (área de exposições, gabinetes e acesso à bancada exterior).

O movimento de passageiros, por ano, tem crescido exponencialmente, situando-se em 41 829 no ano 2011, e 71 799 em 2016. Os navios têm diversas origens, tais como: Reino Unido, Alemanha e Estados Unidos da América [21].

Em termos construtivos os dois terminais possuem soluções bastante diferentes. No Quadro 7 apresentam-se as principais características construtivas dos dois edifícios.

Quadro 7 – Caracterização construtiva dos terminais (Adaptado de [22])

Terminal de Cruzeiros	Solução Construtiva
Matosinhos (Terminal de Cruzeiros Sul)	O seu exterior é composto por revestimento de betão branco auto-compactável aparente e cerâmicos com uma forma hexagonal. O mesmo tipo de revestimento foi aplicado no seu interior. O edifício apresenta também uma grande quantidade de envidraçados no piso 0 e 1. Possui sistema de climatização mecânico.
Leça da Palmeira (Estação de Passageiros Doca nº1 Norte)	Paredes exteriores em madeira pintada, com aplicação de esmalte; Paredes interiores em gesso cartonado. Não possui sistema de climatização mecânico.



Figura 16 – Localização em planta (A) e vista real dos 2 terminais em estudo (B) (Adaptado de [23])




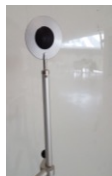


3.4. PROCEDIMENTO DE ENSAIOS

3.4.1. DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS AMBIENTAIS

3.4.1.1. Parâmetros Ambientais Interiores

O equipamento utilizado nos ensaios foi o *Thermal Microclimate HD32.1* (Figura 17). As características das sondas constituintes deste aparelho são apresentadas no Quadro 8.

Quadro 8 – Características gerais das sondas do equipamento *Thermal Microclimate HD32.1* [24]

Sonda	Parâmetros Ambientais	Intervalo de Medição	Resolução	Precisão
	Temperatura do Ar [T_a]	-30°C a +100°C	0,01°C	-0,09°C a +0,19°C
	Humidade Relativa [HR]	5% a 98%	0,10%	±2,5%
	Velocidade do Ar [V_a]	0,05 a 5 m/s	0,01 m/s	±0,02 m/s (0,05 m/s – 1 m/s); ±0,1 m/s (1 m/s – 5 m/s)
	Temperatura Média Radiante [T_{mr}]	-30°C a +120°C	0,01°C	-0,09°C a +0,21°C
	Assimetria Temperatura Radiante [Δt_{pr}]	-10°C a +100°C	0,01°C	10,43 $\mu V/(W/m^2)$
	Temperatura ao nível do chão [T_f]	-10°C a +100°C	0,01°C	-0,08°C a +0,19°C
	Temperatura ao nível do tornozelo [T_k]	-10°C a +100°C	0,01°C	-0,08°C a +0,19°C
	Temperatura ao nível da cabeça [T_h]	-10°C a +100°C	0,01°C	-0,08°C a +0,19°C
	Temperatura ao nível do peito [T_b]	-10°C a +100°C	0,01°C	-0,08°C a +0,19°C

A sonda responsável pelo cálculo da assimetria de temperatura radiante pode ser colocada em duas posições: na vertical ou na horizontal, dependendo da direção em que se pretende medir a diferença de temperatura entre dois planos opostos.

A temperatura ao nível da cabeça e do abdómen consegue ser estimada a duas alturas diferentes da sonda:

- Para um indivíduo que se encontra de pé: 1,7 m ao nível da cabeça e 1,1 m ao nível do abdómen;
- Para um indivíduo que se encontra sentado: 1,1 m ao nível da cabeça e 0,6 m ao nível do abdómen.

Nas medições efetuadas no âmbito deste trabalho, a sonda responsável pelo cálculo da assimetria de temperatura radiante encontrava-se na posição vertical. E de forma a determinar a temperatura ao nível da cabeça e do abdómen a sonda foi colocada a 1,70 m e 1,10 m do pavimento, respetivamente.

O aparelho encontrava-se a uma altura constante de 1,10 m, que corresponde à altura de um indivíduo quando se encontra sentado, tal como está descrito na norma ISO 7726 [8].



Figura 17 – Equipamento de medição

O equipamento apresenta 2 programas que permitem o armazenamento e o tratamento dos parâmetros medidos, nomeadamente:

- Programa A – tem como função a análise do conforto térmico global da envolvente, medindo variáveis como: a temperatura do ar [°C], a velocidade do ar [m/s], a temperatura média radiante [°C], a humidade relativa [%], a pressão atmosférica [hPa], e a intensidade de turbulência para a obtenção do valor da taxa de corrente de ar [DR];
- Programa B – tem como finalidade a avaliação do desconforto térmico localizado, e por isso, a determinação da temperatura ao nível: dos pés, do tornozelo, do abdómen e da cabeça, bem como a assimetria de temperatura radiante, em °C;

O programa A, a partir da medição das variáveis indicadas, calcula o valor final de PMV e PPD, nos respetivos espaços onde ocorreu o ensaio. Já no caso do programa B, a determinação das temperaturas referidas, permite estimar a diferença de temperatura na vertical e a temperatura do pavimento (pavimentos excessivamente quentes ou frios).

3.4.1.2. Parâmetros Ambientais Exteriores

Os parâmetros ambientais exteriores foram determinados com recurso a uma estação meteorológica da APDL, localizada no Porto de Leixões. Foram medidas a temperatura do ar [°C], a humidade relativa [%], a direção do vento [°C] e a velocidade do vento [m/s] com um intervalo de tempo de 5 minutos.

3.4.2. DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS PESSOAIS

Neste trabalho, para o cálculo do PMV e do PDD, considerou-se uma taxa de metabolismo igual a 1,2 met, em todos os casos de estudo. Este é o valor que deve ser adotado para edifícios públicos de indivíduos com atividade sedentária, segundo a EN 15251 [15] e a ISO 7730 [11].

O índice I_{cl} (resistência térmica do vestuário) foi calculado de formas diferentes em função do tipo de inquiridos:

- Nos inquéritos dos passageiros foram definidas 4 opções de conjuntos de peças de roupa e a resistência obteve-se a partir da média dos resultados das respostas;
- Nos inquéritos do CIIMAR a avaliação foi feita da mesma forma, porém com um maior detalhe do tipo de vestuário, aparecendo no inquérito as peças de roupa individualizadas. Neste caso, para além das escolhas que os inquiridos fizeram, adicionou-se ao resultado final os valores 0,04 e 0,1 clo, para assim se considerar, respetivamente, a roupa interior e o facto destes se encontrarem sentados.

Os valores de I_{cl} , em ambos os inquéritos, foram baseados nos quadros presentes nas normas ISO 7730 [11] e ASHRAE 55 [10].

Após a determinação dos parâmetros ambientais e pessoais, é possível o cálculo do PMV e do PPD, através do programa A, como mencionado anteriormente, para cada zona de medição. Para além da análise dos resultados, de acordo com o modelo analítico, foi também realizada uma avaliação dos ensaios através dos modelos adaptativos da ASHRAE 55 [10] e da EN15251 [15].

3.5. LOCAIS DE MEDIÇÃO

Os locais de medição selecionados para a realização deste trabalho correspondem a sítios de passagem ou de permanência de indivíduos. Os ensaios só podiam ser realizados, em qualquer um desses locais, quando existissem navios a efetuar paragem no Porto de Leixões (APDL). As medições tinham uma duração de 15 minutos, por cada programa A e B, com um intervalo de registo de valores de 30 segundos.

No caso do terminal de cruzeiros (Matosinhos) as medições decorreram em três pisos do edifício (Figura 18), entre os quais:

- Piso 0 – Os ensaios iniciaram-se sempre por este piso, ao início da manhã, no momento de desembarque dos passageiros. Este local corresponde à entrada do terminal sendo por isso um lugar de passagem onde os passageiros esperam pelos autocarros. O aparelho encontrava-se localizado próximo da zona de permanência de pessoas (Figura 19). Eram realizadas duas medições de 15 minutos, por cada programa A e B;
- Piso 1 – Ao início da tarde, a última fase de medições, realizou-se na zona de embarque/desembarque (piso 1), no momento antes de partida dos passageiros. Foram efetuadas medições junto às janelas e na zona dos bancos (Figura 20), com uma duração de 15 minutos em cada software (A e B). A zona das janelas foi selecionada para local de medição devido à grande área de envidraçados na sua proximidade, podendo por isso sofrer uma maior influência da radiação solar direta. A zona junto aos bancos, é um local de descanso, onde os passageiros podem usufruir, por exemplo, de rede sem fios (Wi-Fi) e em função disso, uma maior afluência de indivíduos neste espaço;
- Piso 2 – Neste piso encontram-se as instalações do CIIMAR e por esse motivo a abordagem aos trabalhadores foi diferente daquela que se adotou no caso dos passageiros. Por volta da hora de

almoço, hora de maior afluência de pessoas na zona comum, o equipamento era colocado no local indicado na Figura 21, executando-se 15 minutos de cada um dos programas. Este lugar possui diversas mesas e corresponde ao sítio onde os funcionários almoçam.

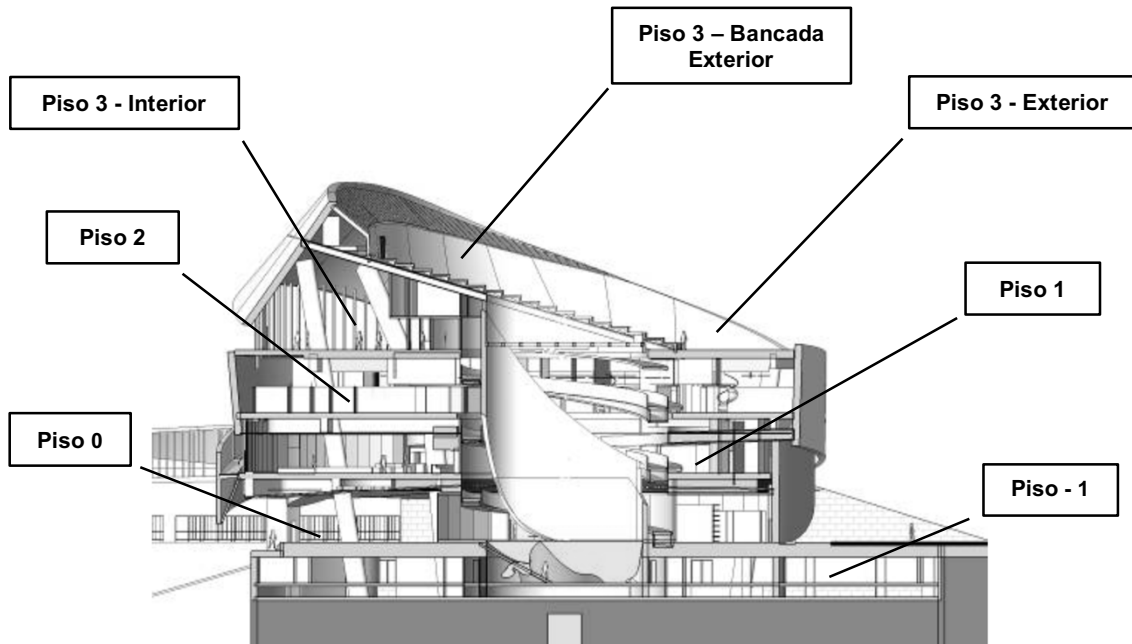


Figura 18 – Corte do Edifício do Terminal de Cruzeiros de Matosinhos (Adaptado de [25])

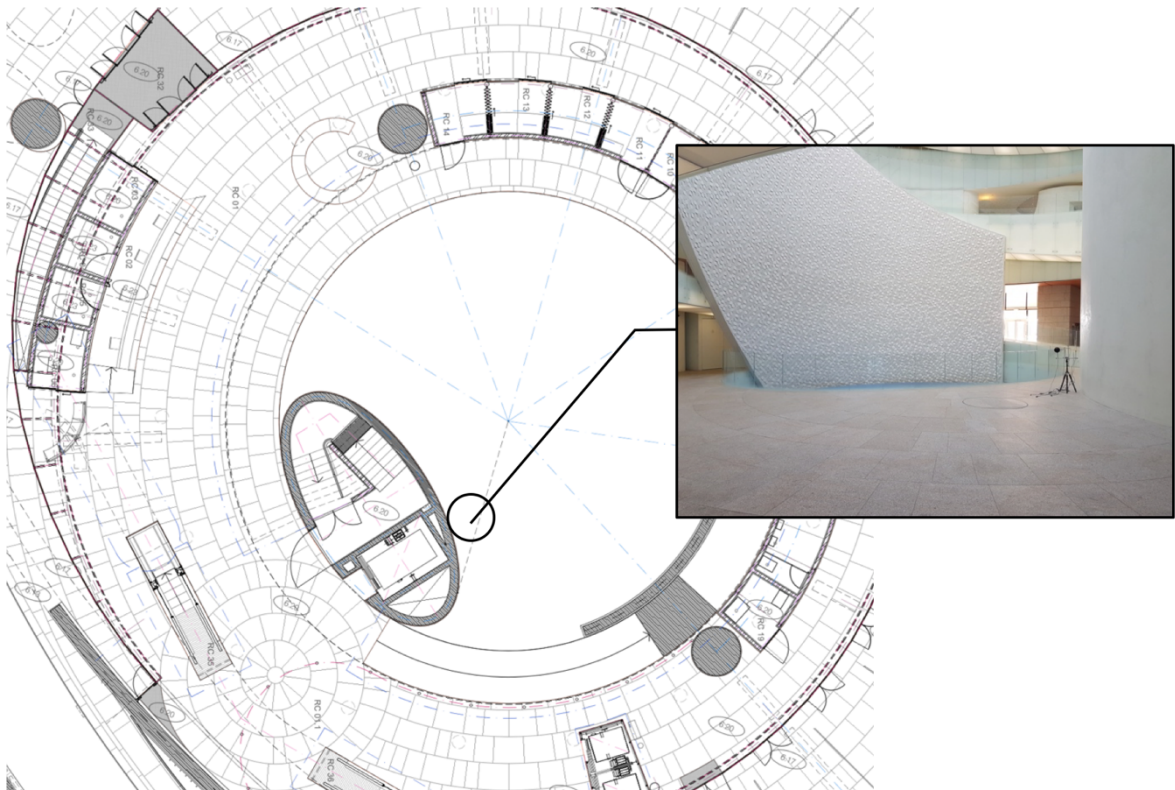


Figura 19 - Planta e Local de Medição - Terminal de Matosinhos (Piso 0)



Figura 20 - Planta e Local de Medição - Terminal de Matosinhos (Piso 1)



Figura 21 - Planta e Local de Medição - Terminal de Matosinhos (Piso 2)

Na estação de passageiros, em Leça da Palmeira, o ponto escolhido para as medições foi o posto de turismo (Figura 22), devido à maior probabilidade de concentração de passageiros nessa zona. Os ensaios decorreram ao longo de 30 minutos (15 minutos de programa A e 15 minutos de programa B), em 2 períodos, durante a manhã (chegada dos passageiros) e durante a tarde (partida dos passageiros).

Os ensaios em Matosinhos e em Leça da Palmeira foram definidos consoante as escalas de navios previstas. Os dias exatos em que ocorreram as medições encontram-se evidenciados na Figura 26 e na Figura 27.

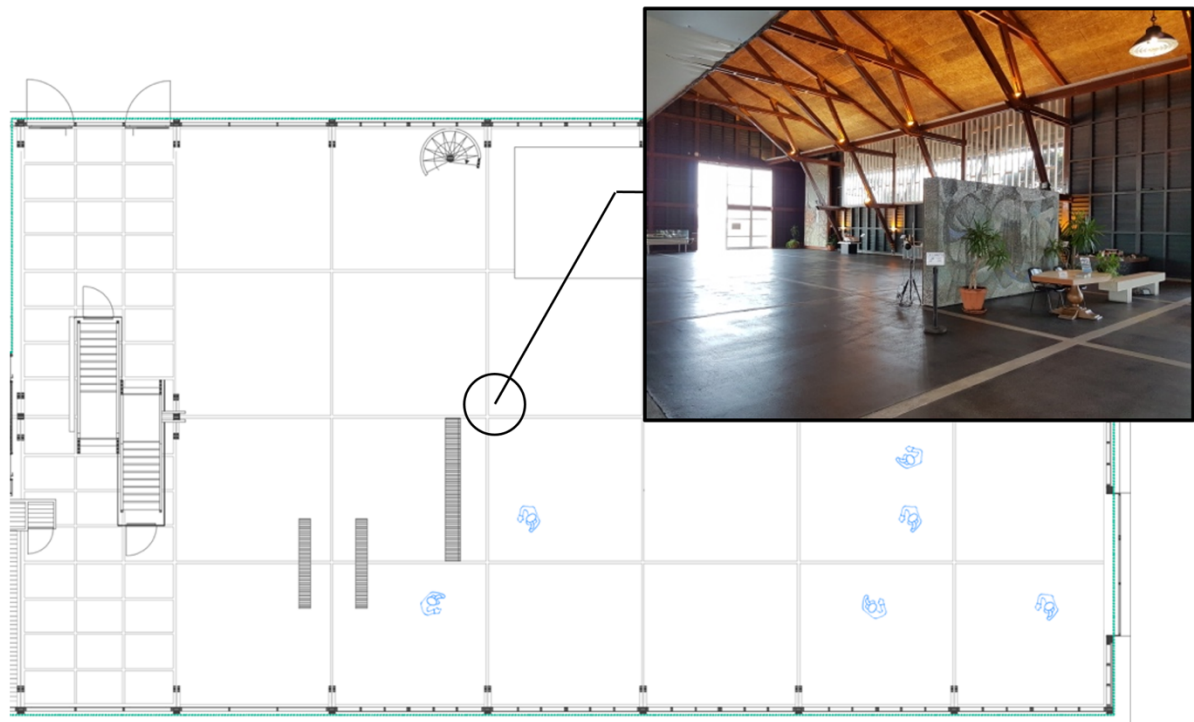


Figura 22 - Planta e Local de Medição - Terminal de Leça da Palmeira (Piso 0)

3.6. INQUÉRITOS

Para avaliar a perceção térmica dos indivíduos foram realizados inquéritos, tendo sido preparados dois tipos distintos:

- Inquéritos para avaliação do conforto térmico interior dos passageiros;
- Inquéritos para avaliação do conforto térmico interior dos trabalhadores do CIIMAR;

Os dois inquéritos foram baseados em perguntas e escalas definidas na norma ISO 10551 [26]. Em ambos se colocaram parâmetros como: a hora, a data, o género, a idade, o peso e a altura, não só para poder comparar os resultados das medições com os dos inquéritos, mas também para uma compreensão, na discussão dos resultados, da influência destes fatores pessoais no conforto térmico.

Para além das perguntas tipo presentes na norma, achou-se relevante acrescentar algumas questões com uma maior especificidade face ao local de estudo, para ser possível uma posterior análise mais detalhada. Considerou-se importante incluir questões sobre:

- Estado de Saúde – Verificar como se sentem no momento, confortáveis ou desconfortáveis;

- Frequência com que praticam exercício físico – com o objetivo de entender o tipo de metabolismo a que estão habituados, podendo corresponder a um estilo de vida mais sedentário ou mais ativo;
- Desconforto térmico localizado – para averiguar qual é a parte do corpo onde possuem uma maior insatisfação;
- Tipo de roupa – no sentido de calcular o I_{cl} , a resistência térmica do vestuário que estão a usar no momento.

Em relação aos passageiros, o inquérito para os terminais de Leça da Palmeira e Matosinhos (Figura 23), foi feito em inglês, visto que a maior parte eram turistas estrangeiros que não dominavam a língua portuguesa. Devido a este facto, incluiu-se uma pergunta sobre os seus países de origem de maneira a perceber qual o tipo de clima a que estão familiarizados.

No caso do desconforto térmico localizado e do tipo de vestuário, optou-se por colocar imagens ilustrativas, não só para o questionário se tornar mais apelativo, mas para as pessoas poderem responder num curto período de tempo.

Entendeu-se também ser importante indicar a localização dos inquiridos no edifício no momento de resposta, para comparar com os resultados das medições (junto às janelas e junto aos bancos, Piso 1).

Matosinhos Terminal de Cruzeiros Sul

PORTO
FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertation – Master in Civil Engineering
Expertise in Construction

Date: ____/____/____
Time: ____:____:____

valuation of Passengers' Thermal Comfort

Age: ____ Gender: ☐ F ☐ M Country: ____
Weight: ____ Kg ____ lbs Height: ____ m ____ ft ____ in

How do you feel at this moment?
☐ Hot ☐ Warm ☐ Slightly Warm ☐ Neutral ☐ Slightly Cool ☐ Cool ☐ Cold

At this moment, do you find this room...
☐ Comfortable ☐ Slightly Uncomfortable ☐ Uncomfortable ☐ Very Uncomfortable ☐ Extremely Uncomfortable

At this moment, how would you prefer to be?
☐ Much Warmer ☐ Warmer ☐ Slightly Warmer ☐ No Change ☐ Slightly Cooler ☐ Cooler ☐ Much Cooler

How long have you been here? ____ min

In this environment, in your opinion?
☐ Perfectly Bearable ☐ Slightly Difficult to Bear ☐ Difficult to Bear ☐ Unbearable

Today, your health status is:
☐ Better than Usual ☐ Usual ☐ Worse than Usual

How many people are you travelling with?
☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐ 10 ☐ More than 10

Leça da Palmeira Doca nº1 Norte

PORTO
FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertation – Master in Civil Engineering
Expertise in Construction

Date: ____/____/____
Time: ____:____:____

valuation of Passengers' Thermal Comfort

Age: ____ Gender: ☐ F ☐ M Country: ____
Weight: ____ Kg ____ lbs Height: ____ m ____ ft ____ in

How do you feel at this moment?
☐ Hot ☐ Warm ☐ Slightly Warm ☐ Neutral ☐ Slightly Cool ☐ Cool ☐ Cold

At this moment, do you find this room...
☐ Comfortable ☐ Slightly Uncomfortable ☐ Uncomfortable ☐ Very Uncomfortable ☐ Extremely Uncomfortable

At this moment, how would you prefer to be?
☐ Much Warmer ☐ Warmer ☐ Slightly Warmer ☐ No Change ☐ Slightly Cooler ☐ Cooler ☐ Much Cooler

How long have you been here? ____ min

In this environment, in your opinion?
☐ Perfectly Bearable ☐ Slightly Difficult to Bear ☐ Difficult to Bear ☐ Unbearable

Today, your health status is:
☐ Better than Usual ☐ Usual ☐ Worse than Usual

How many people are you travelling with?
☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐ 10 ☐ More than 10

PORTO
FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertation – Master in Civil Engineering
Expertise in Construction

8. How often do you practice exercise?
☐ Never ☐ 1 to 3 times a week ☐ More than 3 times a week

9. If you are dissatisfied with the temperature, what is the most critical zone of your body?
(You can choose more than one option)
☐ Head ☐ Chest/Back/Arms ☐ Hands ☐ Legs ☐ Feet ☐ All Body

10. Using the images below, what type of clothing are you wearing right now?
☐ T-shirt, Shorts, Shoes ☐ T-shirt, Trousers, Shoes ☐ Shirt, Trousers, Shoes ☐ Shirt, Jacket, Trousers, Shoes

PORTO
FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertation – Master in Civil Engineering
Expertise in Construction

8. How often do you practice exercise?
☐ Never ☐ 1 to 3 times a week ☐ More than 3 times a week

9. If you are dissatisfied with the temperature, what is the most critical zone of your body?
(You can choose more than one option)
☐ Head ☐ Chest/Back/Arms ☐ Hands ☐ Legs ☐ Feet ☐ All Body

10. Using the images below, what type of clothing are you wearing right now?
☐ T-shirt, Shorts, Shoes ☐ T-shirt, Trousers, Shoes ☐ Shirt, Trousers, Shoes ☐ Shirt, Jacket, Trousers, Shoes

Figura 23 – Inquéritos para avaliação do conforto térmico dos passageiros

O inquérito do CIIMAR (Figura 24) é mais extenso que o anterior, mas foi assumido que neste caso os inquiridos teriam mais tempo e estariam mais predispostos para responder ao questionário.

As questões foram, igualmente, adaptadas da norma ISO 10551 [26], contendo também perguntas relacionadas com o desconforto térmico localizado (com recurso a imagens) e com o tipo de vestuário, sendo a descrição mais detalhada pois é apresentada por peça. O funcionamento do sistema de climatização, a qualidade do ar interior/exterior e a presença de odores incomodativos no edifício foram também alvo de abordagem.

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Mestrado Integrado Em Engenharia Civil – Especialização em Construções

Inquérito para a Avaliação do Conforto Térmico Interior

Localização: **Piso 2 - CHMAR**

Data: ____/____/____
Hora: ____:____ h

2016/2017

Identificação:

Nome (aprox.): ____ kg
Sexo: ☐ F ☐ M
Altura (aprox.): ____ m

Quantas vezes por semana pratica exercício físico?

☐ 1 a 3 vezes ☐ Mais que 3 vezes ☐ Nunca

Como se sente em termos de saúde hoje?

☐ Melhor que o normal ☐ Normal ☐ Pior que o normal

1. Como se sente neste momento?

☐ Muito quente ☐ Quente ☐ Ligeiramente quente ☐ Nem quente nem frio ☐ Ligeiramente frio ☐ Frio ☐ Muito frio

2. Neste momento, como classifica o ambiente interior?

☐ Confortável ☐ Ligeiramente desconfortável ☐ Desconfortável ☐ Muito desconfortável ☐ Extremamente desconfortável

3. Na sua opinião, o ambiente a nível térmico é?

☐ Tolerável ☐ Pouco tolerável ☐ Muito pouco tolerável ☐ Intolerável

4. Neste momento, como gostaria de estar?

☐ Muito mais quente ☐ Mais quente ☐ Ligeiramente mais quente ☐ Igual ☐ Ligeiramente mais frio ☐ Mais frio ☐ Muito mais frio

5. Como não está confortável, indique as zonas onde sente desconforto: (assinale uma ou mais)

(cabeça)

(peito/costas/
braços)

(mãos)

(pernas)

(pés)

(corpo inteiro)

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Mestrado Integrado Em Engenharia Civil – Especialização em Construções

Inquérito para a Avaliação do Conforto Térmico Interior

6. Indique todas as peças de roupa que está a usar.

Camisolas/Blusas:	Camisolas/Pulôver:
<input type="checkbox"/> T-shirt (0,08)	<input type="checkbox"/> sem mangas (0,12)
<input type="checkbox"/> Camisla de verão, manga curta (0,19)	<input type="checkbox"/> manga comprida de verão (0,20)
<input type="checkbox"/> Camisla de verão, manga comprida (0,20)	<input type="checkbox"/> manga comprida de meia-estação (0,25)
<input type="checkbox"/> Blusa de verão, manga comprida (0,15)	<input type="checkbox"/> manga comprida de inverno (0,36)
<input type="checkbox"/> Camisla de inverno (0,25)	
<input type="checkbox"/> Camisla de flanela, manga comprida (0,30)	
	Casacos:
	<input type="checkbox"/> de verão (0,25)
	<input type="checkbox"/> de inverno (0,35)

Calças:	Vestidos/Saia:
<input type="checkbox"/> Calções (0,06)	<input type="checkbox"/> saia curta, de verão (0,15)
<input type="checkbox"/> de verão (0,20)	<input type="checkbox"/> saia comprida, de inverno (0,25)
<input type="checkbox"/> de meia-estação (ganga) (0,25)	<input type="checkbox"/> vestido, manga curta (de verão) (0,20)
<input type="checkbox"/> de inverno (flanela) (0,28)	<input type="checkbox"/> vestido, manga comprida (de inverno) (0,40)

Meias:	Calçado:	Accessórios:
<input type="checkbox"/> finas (0,02)	<input type="checkbox"/> sola fina, ténis/sapatão (0,02)	<input type="checkbox"/> cachecol/lenço (0,05)
<input type="checkbox"/> grossas, pelo tornozelo (0,05)	<input type="checkbox"/> sola grossa, ténis desportivo (0,04)	<input type="checkbox"/> luvas (0,05)
<input type="checkbox"/> grossas, pelo peito (0,10)	<input type="checkbox"/> botas (0,10)	<input type="checkbox"/> chapéu/boné (0,05)
<input type="checkbox"/> de nylon (0,03)	<input type="checkbox"/> sandálias (0,02)	
<input type="checkbox"/> colante (0,10)		

7. Aborreu o seu vestuário no decorrer da última hora, com o intuito de melhorar as condições de conforto térmico?

☐ Sim ☐ Não

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Mestrado Integrado Em Engenharia Civil – Especialização em Construções

Inquérito para a Avaliação do Conforto Térmico Interior

8. No momento, o sistema de climatização do espaço está ...

☐ Ligado ☐ Desligado

9. Há quanto tempo se encontra neste espaço: _____

10. Como considera a qualidade do ar no EXTERIOR deste local?

☐ Muito aceitável ☐ Aceitável ☐ Má ☐ Muito má

11. Como considera a qualidade do ar no INTERIOR deste local?

☐ Muito aceitável ☐ Aceitável ☐ Má ☐ Muito má

12. Como classifica a qualidade do ar em termos de odores no interior deste local?

☐ Sem odores ☐ Odores ligeiros ☐ Odores fortes

13. Alguma vez se sentiu incomodado com o ar dentro deste local?

☐ Sim ☐ Não

Figura 24 - Inquérito para avaliação do conforto térmico no CIIMAR

Um exemplo de ambos os inquéritos é apresentado no Anexo A e B.

3.7. SÍNTESE

A Figuras 25, a Figura 26 e a Figura 27 representam, respetivamente, uma síntese do procedimento adotado nos dias de ensaios, o número de inquéritos e o número de medições realizadas nesses mesmos dias.

Terminal	Local de Medição	Ref.	Momento do Dia		Programa	Duração	Tipo de Inquéritos
Matosinhos - Terminal de Cruzeiros Sul	Piso 0	TMAT	Início da Manhã	Chegada de Passageiros	A	15 minutos	Passageiros
	Piso 0	TMAT	Início da Manhã		B	15 minutos	Passageiros
	Piso 2 - CIIMAR	CIIMAR	Hora de Almoço		A	15 minutos	Trabalhadores
	Piso 2 - CIIMAR	CIIMAR	Hora de Almoço		B	15 minutos	Trabalhadores
	Piso 1 - Janelas	TMAT	Início da Tarde	Partida de Passageiros	A	15 minutos	Passageiros
	Piso 1 - Janelas	TMAT	Início da Tarde		B	15 minutos	Passageiros
	Piso 1 - Bancos	TMAT	Início da Tarde		A	15 minutos	Passageiros
	Piso 1 - Bancos	TMAT	Início da Tarde		B	15 minutos	Passageiros
Leça da Palmeira - Estação de Passageiros	Piso 0	TLP	Início da Manhã	Chegada de Passageiros	A	15 minutos	Passageiros
	Piso 0	TLP	Início da Manhã		B	15 minutos	Passageiros
	Piso 0	TLP	Início da Tarde	Partida de Passageiros	A	15 minutos	Passageiros
	Piso 0	TLP	Início da Tarde		B	15 minutos	Passageiros

Figura 25 – Síntese do procedimento dos dias de ensaios

Número de Inquéritos		Dia 1 30/Mar #01	Dia 2 06/Abr #02	Dia 3 02/Mai #03	Dia 4 04/Mai #04	Dia 5 15/Mai #05	Dia 6 16/Mai #06	Dia 7 18/Mai #07	Dia 8 23/Mai #08	Dia 9 24/Mai #09	Dia 10 25/Mai #10	Dia 11 30/Mai #11	Total
Matosinhos	Passageiros	-	89	102	-	-	77	44	-	68	-	-	380
	CIIMAR	25	22	25			17	16	-	16	-	-	121
Leça da Palmeira	Passageiros	-	-	-	33	47	-	-	39	-	42	31	192

Figura 26 – N° de inquéritos realizados

Número de Medições		Dia 1 30/Mar #01	Dia 2 06/Abr #02	Dia 3 02/Mai #03	Dia 4 04/Mai #04	Dia 5 15/Mai #05	Dia 6 16/Mai #06	Dia 7 18/Mai #07	Dia 8 23/Mai #08	Dia 9 24/Mai #09	Dia 10 25/Mai #10	Dia 11 30/Mai #11	Total
Matosinhos	Piso 0 e 1	6	6	6	-	-	4	4	-	6	-	-	32
	CIIMAR (Piso 2)	4	2	2	-	-	2	2	-	2	-	-	14
Leça da Palmeira	Piso 0	2	-	-	4	4	-	-	4	-	4	4	22

Figura 27 – N° de medições realizadas

Nos 11 dias de ensaios, distribuídos pelos meses de março, abril e maio, realizaram-se no total 68 medições, 572 inquéritos a passageiros e 121 inquéritos a trabalhadores do CIIMAR. Cada medição corresponde ao processamento de um programa, A ou B. As discrepâncias no número de medições no mês de Maio em comparação com o mês de Abril, deveu-se ao facto de existir um maior número de paragens de navios nos dois terminais no primeiro mês do que no último.

Para um melhor entendimento do trabalho foram atribuídos códigos para identificar cada local e dia de ensaio. As referências TMAT (Terminal de Matosinhos) e TLP (Terminal de Leça da Palmeira) correspondem a áreas de embarque e desembarque, por isso nessas mesmas zonas apenas se realizaram

inquéritos aos passageiros. A referência CIIMAR representa o piso 2, do terminal de Matosinhos, e por esse motivo os inquéritos distribuídos correspondiam aos criados para os trabalhadores e colaboradores desse mesmo espaço.

Os dias possuem o registo a partir do símbolo #, uma vez que as avaliações de conforto térmico eram processadas em diferentes datas nos dois terminais em estudo.

Pela análise da Figura 25, pode constatar-se que as medições nos diferentes locais, são divididas em momentos do dia, consoante o movimento dos passageiros e o horário de almoço dos funcionários do CIIMAR. O Quadro 9 explicita o intervalo de horários, em horas, correspondentes a esses momentos:

Quadro 9 – Intervalo de horários das medições

Momento do Dia	Horário
Início da Manhã	8:00 - 10:00
Hora de Almoço	12:00 - 14:00
Início da Tarde	14:00 - 16:00

O primeiro ensaio decorreu no dia 30 de Março, e ao contrário dos restantes, sem escalas de navios. Nesse dia apenas se visitou os dois edifícios em estudo, com o objetivo de definir os locais de medição e testar o equipamento. Em relação aos inquéritos somente se distribuiu na zona do CIIMAR.

A previsão de chegada de navios era sobretudo entre as 7h e 8h, e a partida entre as 16h e 18h. Apenas nos dias #04 e #08, a hora de chegada do navio à estação de passageiros em Leça da Palmeira, foi por volta das 12h e por isso, as primeiras medições foram realizadas no período da hora de almoço.

Outro nota relevante, é o facto de nos dias 16 (#06) e 18 de Maio (#07), em Matosinhos, o embarque e desembarque dos passageiros ter ocorrido no piso 0, e por isso os ensaios relativos ao início da manhã e início da tarde sucederam-se neste piso. Na apresentação e análise dos resultados, as medições executadas ao início da tarde no piso 0 e 1, correspondem à referência TMAT – Tarde.

4

RESULTADOS

4.1. CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

4.1.1. CARACTERIZAÇÃO QUANTITATIVA E POR GÉNERO DOS INQUIRIDOS

No total foram realizados 693 inquéritos, divididos pelos três casos de estudo:

- Piso 0 e 1 – Terminal de cruzeiros Sul, Matosinhos (TMAT);
- Piso 2 – CIIMAR, Terminal de cruzeiros Sul, Matosinhos (CIIMAR);
- Piso 0 – Estação de Passageiros, Doca 1 Norte, Leça da Palmeira (TLP).

Dos 693 inquéritos obtidos, 55% correspondem aos passageiros do TMAT, 28% aos passageiros do TLP e 17% aos trabalhadores do CIIMAR (Figura 28 a)). Os restantes gráficos circulares mostram a divisão dos inquiridos: no TMAT e TLP (Figura 28 b)), por género no TMAT e no TLP (Figura 28 c)) e por género no CIIMAR (Figura 28 d)).

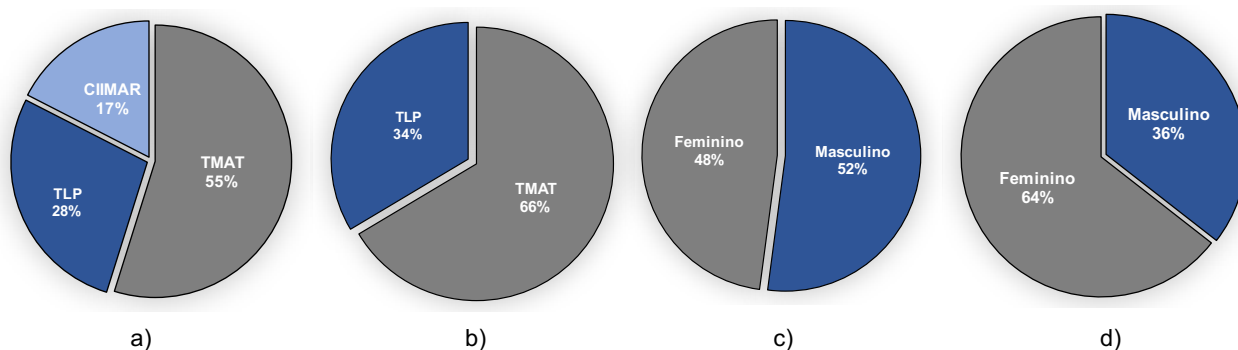


Figura 28 – Caracterização da amostra: a) três casos de estudo, b) TMAT e TLP, c) divididos por género no TMAT e TLP, d) divididos por género no CIIMAR

Em primeiro lugar, é fundamental a divisão entre os passageiros (TMAT e TLP) e os trabalhadores do CIIMAR. Esta divisão é relevante, não só pelo facto de estes serem diferentes, mas também porque a análise/tratamento dos resultados foi executada separadamente.

O gráfico da Figura 29, representa a distribuição dos entrevistados por caso de estudo e por género. A partir da sua análise conclui-se que, o número de passageiros que responderam aos inquéritos no TMAT foi muito superior ao TLP, estando associado este facto à diferença de tamanho dos navios. Por norma, no TMAT, os navios possuíam uma maior dimensão o que consequentemente conduzia a uma maior amostra.

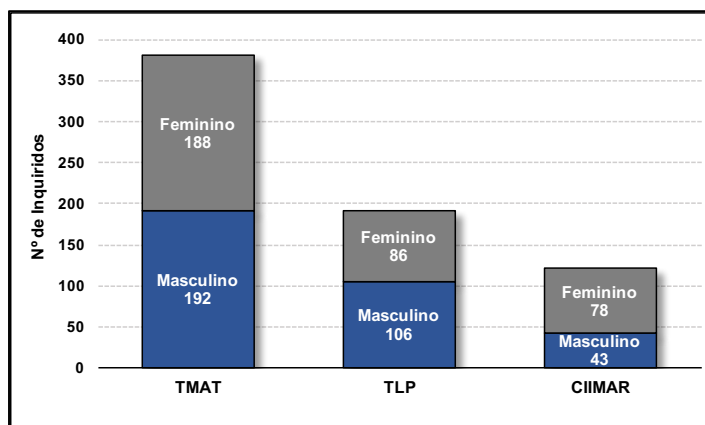


Figura 29 – Número de inquiridos nos três casos de estudo

O número de indivíduos entrevistados do sexo masculino excedeu os do sexo feminino no total de turistas presentes no TMAT e no TLP, tal como representa o gráfico circular da Figura 28 c).

O valor total de inquéritos dos trabalhadores do CIIMAR está bastante longe daquele que se obteve para os passageiros, atingindo-se no total 121 inquiridos, em 6 dias de ensaios (Figura 29). O género feminino possui uma percentagem superior ao masculino, 64% e 36% respetivamente (Figura 28 d)).

4.1.2. IDADE DOS INQUIRIDOS

A análise da Figura 30, a) e b), comprova que a idade dos inquiridos variou bastante nos dois terminais, em ambos os géneros. Em Matosinhos, verificou-se que os tripulantes do sexo feminino eram em média mais velhos que os passageiros do sexo masculino. Cerca de 50% dos indivíduos têm idade entre 45 e 60 anos, no caso do género feminino, e 35 e 50 anos, no masculino.

No TLP, os valores médios situaram-se aproximadamente nos 40 e 60 anos, para o sexo masculino e feminino, respetivamente. No género masculino os valores atingidos são inferiores aos mencionados no parágrafo anterior, obtendo-se uma idade de metade dos entrevistados entre 30 e 50 anos.

No CIIMAR, o cenário é muito distinto em relação ao obtido no TMAT e no TLP. O intervalo de idades para os dois géneros é mais reduzido, situando-se a sua média, em ambos os casos, próxima dos 30 anos (Figura 30 c)).

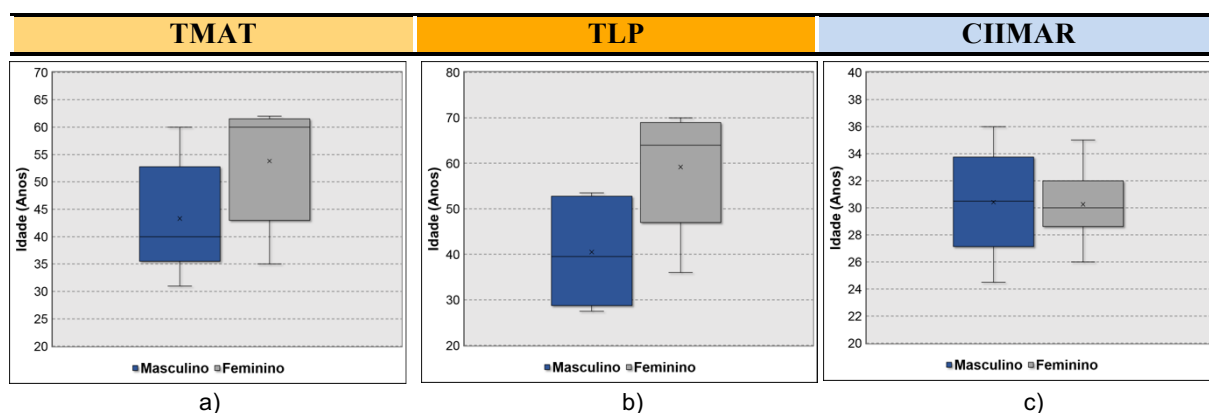


Figura 30 – Distribuição das idades dos inquiridos: a) TMAT, b) TLP e c) CIIMAR

4.1.3. PESO E ALTURA DOS INQUIRIDOS

O peso e a altura dos indivíduos foram outros dois parâmetros questionados durante a realização dos inquéritos. Devido ao facto de os passageiros possuírem várias nacionalidades utilizaram-se diferentes unidades de medida, no entanto, para a análise final dos resultados, todos os valores de peso e altura obtidos foram convertidos para quilogramas (kg) e metros (m), respetivamente.

A Figura 31 mostra os resultados conseguidos para os passageiros do TMAT. A altura média dos indivíduos do sexo masculino e feminino, situa-se entre 1,62 m e 1,64 m. No caso do peso, mais de 50% dos inquiridos, pesam entre 67kg e 70kg, sendo o valor médio aproximadamente 68kg.

No TLP o cenário foi semelhante, contudo os intervalos de valores para as duas variáveis foram ligeiramente superiores aos abordados previamente. Estando o valor médio da altura entre 1,68 m e 1,80 m, e ligeiramente superior a 68 kg para o peso (Figura 32).

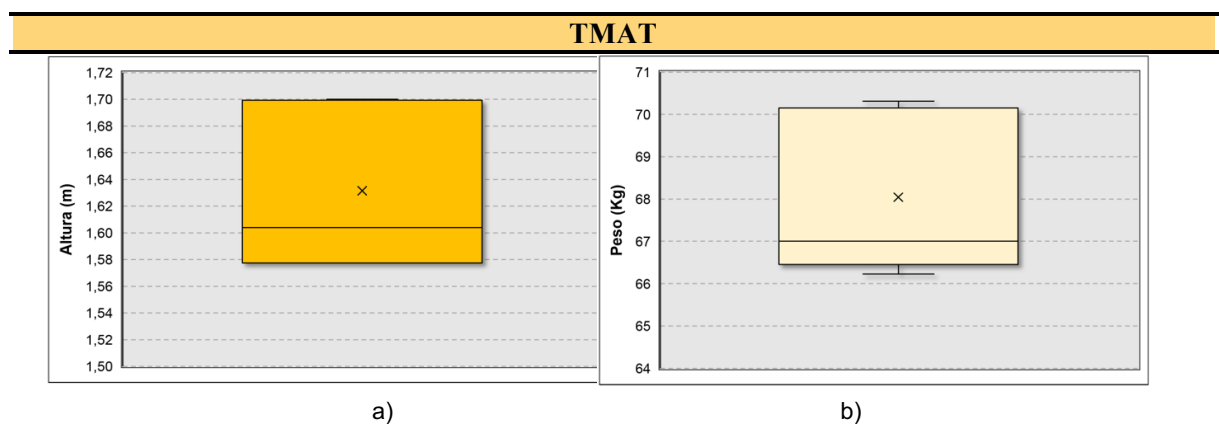


Figura 31 - Dados relativos ao TMAT: a) altura, b) peso

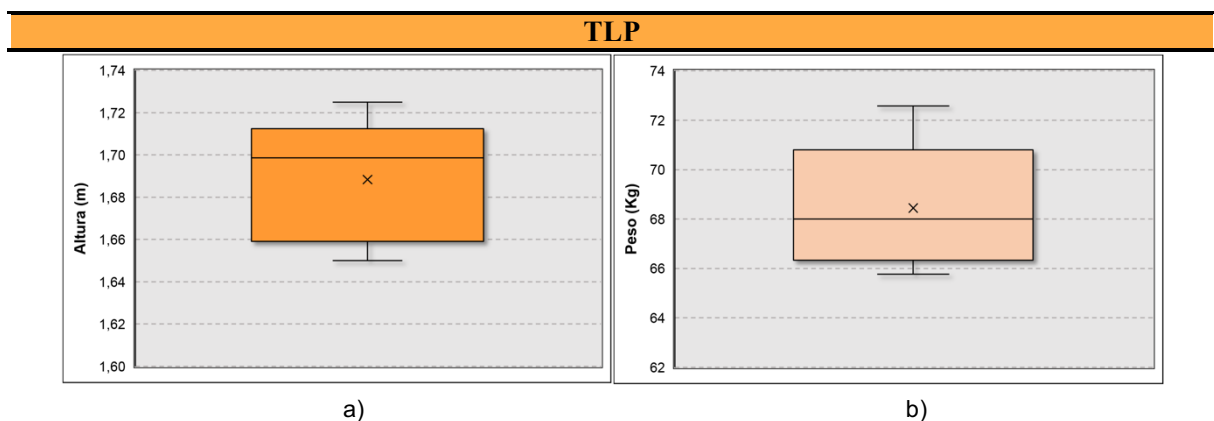


Figura 32 - Dados relativos ao TLP: a) altura, b) peso

No centro de investigação, CIIMAR, obtiveram-se maiores oscilações destas duas variáveis, tal como descreve a Figura 33. A média para a altura foi de 1,70 m e para o peso situou-se entre 64 e 68kg.

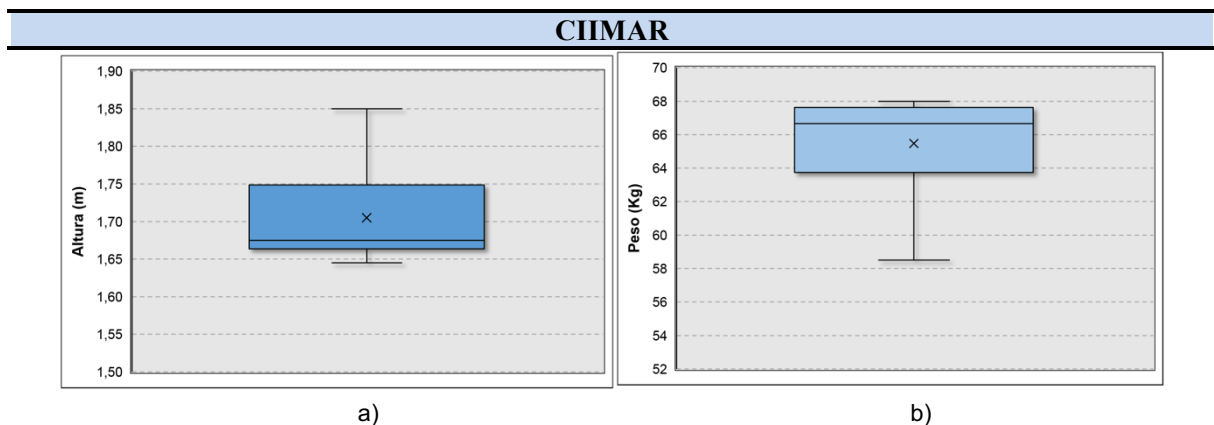


Figura 33 - Dados relativos ao CIIMAR: a) altura, b) peso

4.1.4. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS PASSAGEIROS

Os navios que efetuaram escala no Porto de Leixões nos dias dos ensaios provinham na sua maior parte de cidades europeias, porém os passageiros eram naturais de diversas partes do globo. Para uma melhor compreensão da distribuição geográfica da proveniência dos turistas, encontram-se na Figura 34 os países de origem dos cidadãos entrevistados. A maioria dos viajantes eram residentes no Reino do Unido.

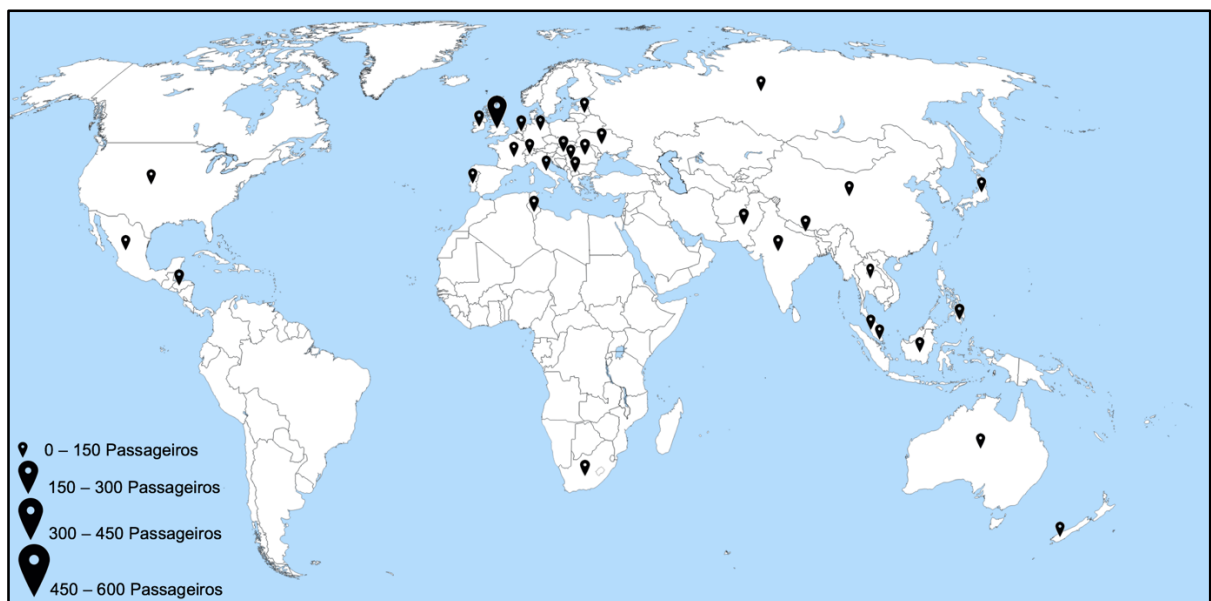


Figura 34 – Distribuição espacial dos passageiros pelo mundo

No gráfico da Figura 35 apresentam-se os valores absolutos do número de inquiridos por país de origem. O Reino Unido foi o país com um maior número de indivíduos entrevistados, como foi referido no parágrafo anterior, destacando-se dos restantes. Segue-se Portugal, em segundo lugar, e os Estados Unidos da América em terceiro lugar. Existem vários países com apenas um ou dois cidadãos.

Com base na observação da imagem anterior, dividiram-se todos os indivíduos que responderam à pergunta acerca da sua origem, cujos números oficiais se encontram no gráfico da Figura 35, nos cinco grandes grupos de climas.

Devido ao facto de existirem países que possuem mais do que um clima e nos inquiridos não se questionar especificamente acerca da localidade, existiram alguns territórios em que apenas se considerou para esta divisão o clima dominante.

O clima glacial não teve qualquer inquirido e o temperado foi aquele que atingiu uma percentagem mais elevada com 80%, seguido do tropical com 15%. Os climas árido e continental apresentaram uma percentagem baixa, com 4% e 1% cada um, respetivamente (Figura 37).

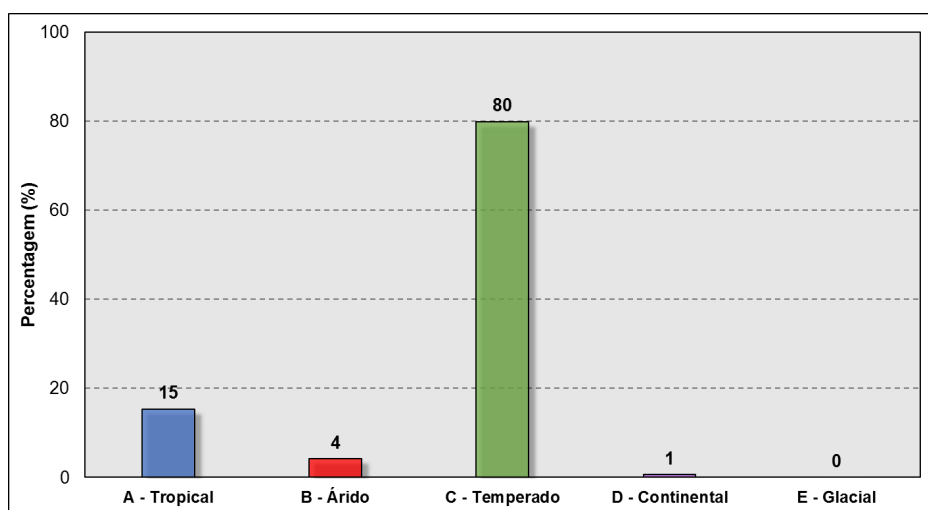


Figura 37 – Distribuição dos passageiros pelos 5 grandes climas

4.1.5. NÚMERO DE COMPANHEIROS DE VIAGEM E TEMPO DE PERMANÊNCIA NO EDIFÍCIO

Um estudo realizado por Liu et al. [28], em duas estações de comboios na China, analisou a relação entre o tempo de espera e o conforto térmico dos inquiridos no interior do edifício. Uma das grandes conclusões foi que a confortabilidade térmica aumenta com o tempo de espera. Neste trabalho, questionou-se os indivíduos acerca do tempo de permanência no edifício no momento do inquérito.

Os resultados obtidos revelaram que, na maioria dos ensaios realizados no TMAP, os passageiros encontravam-se no edifício num intervalo de tempo entre 5 e 10 minutos, contudo existiram momentos do dia em que estes permaneciam há mais de 30 minutos (Figura 38 a)).

No TLP registaram-se maiores variações do tempo médio, existindo períodos do dia em que os indivíduos estavam há 5 minutos na estação de passageiros e outros em que se encontram há cerca de 20. Porém, as durações médias nunca foram superiores a 20 minutos, valores inferiores aos obtidos no TMAP (Figura 38 b)).

No caso do CIIMAR, os trabalhadores encontravam-se naquele espaço, num intervalo de tempo entre 20 a 40 minutos, devido ao facto das medições/inquéritos ocorrerem durante a hora de almoço dos funcionários (Figura 38 c)).

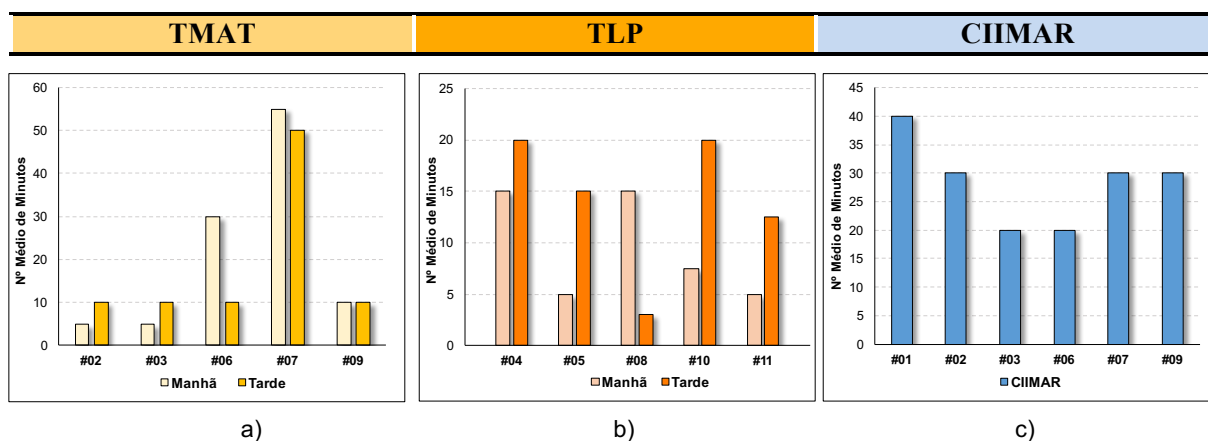


Figura 38 – Nº médio de minutos de permanência dos inquiridos no edifício: a) TMAT, b) TLP e c) CIIMAR

Pantavou et al. [29] concluiu que quando as pessoas se encontram acompanhadas, a sensibilidade às condições térmicas é menor do que quando se encontram sozinhas. No sentido de tentar perceber se esta circunstância pode influenciar a sensação térmica dos passageiros inquiriram-se estes acerca do número de companheiros de viagem.

Os gráficos da Figura 39 mostram que os passageiros, nos dois casos de estudo, viajam na maioria das vezes, em média, com um companheiro. Apesar de se verificar que no dia de ensaio #02 o valor aumentou para dois no período da manhã e três no período da tarde.

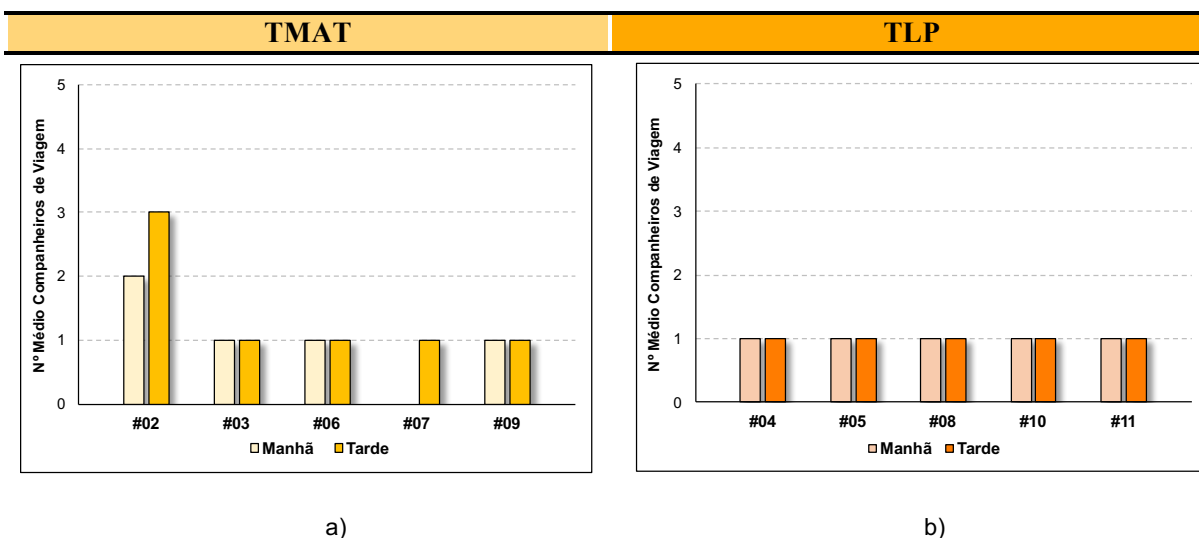


Figura 39 - Nº de companheiros de viagem: a) TMAT e b) TLP

4.1.6. ESTADO DE SAÚDE E PRÁTICA DE EXERCÍCIO FÍSICO

O estado de saúde e a prática regular de exercício físico influenciam a percepção térmica dos indivíduos. A forma como os cidadãos se sentem no momento em que são inquiridos intervém, não só, na maneira como estes se avaliam termicamente, mas também no modo como classificam o ambiente em seu redor.

A sensibilidade aumenta com a diminuição do bem-estar corporal, podendo originar sensações bastante diferentes para o mesmo clima. O mesmo acontece com a prática de exercício físico, que interfere com

o metabolismo a que o ser humano está habituado. Assim, um estilo de vida sedentário proporciona que a taxa metabólica seja baixa, originando um aumento da vulnerabilidade do corpo humano.

Através da observação da Figura 40 a) e b) conclui-se que as duas questões tiveram uma grande uniformidade de respostas. Mais de 50% dos indivíduos, nos três casos de estudo, mantinham uma prática de atividade física de 1 a 3 vezes por semana e a forma como se sentiam no momento do inquérito era normal.

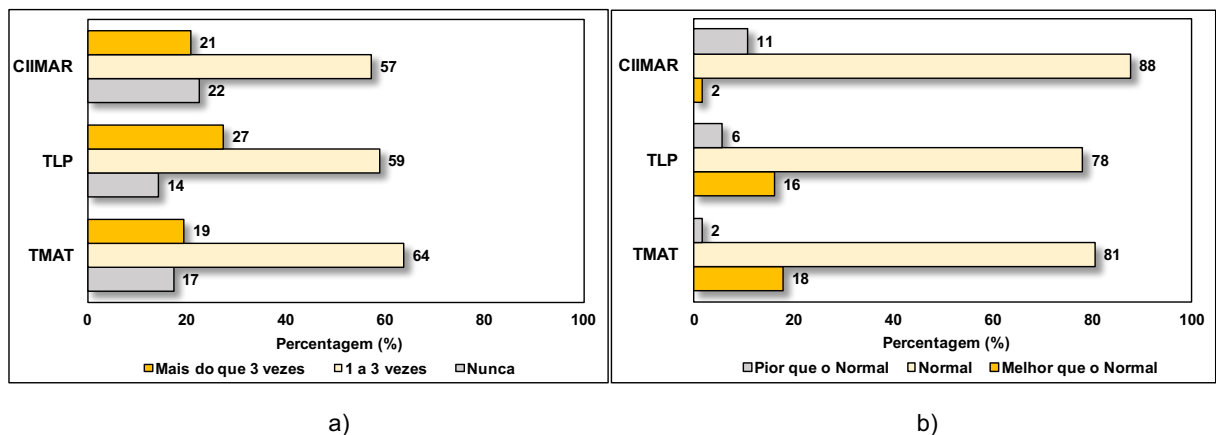


Figura 40 – Dados relativos aos três casos de estudo: a) prática de exercício físico e b) estado de saúde

4.1.7. RESISTÊNCIA TÉRMICA DO VESTUÁRIO DOS INQUIRIDOS

A resistência térmica do vestuário é dada pelo índice I_{cl} na unidade clo. Nos inquéritos para passageiros apenas se consideraram quatro possibilidades de resistências térmicas: 0,3 clo, 0,5 clo, 0,7 clo e 1,0 clo. Os valores foram baseados em conjuntos de roupa pré-definidos, de acordo com a norma ISO 7730 [11], tendo-se adaptado estes em virtude dos inquiridos se encontrarem no decorrer de uma viagem de lazer.

Na Figura 41 estão expressos os resultados deste parâmetro para os passageiros no TMAP e TLP.

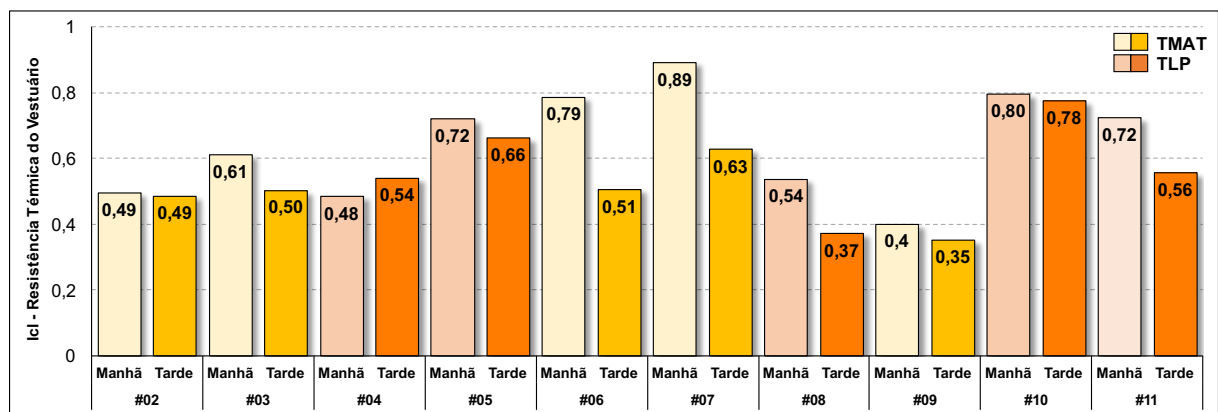


Figura 41 – Resistência térmica do vestuário dos ensaios relativos aos passageiros, nos dois terminais

O índice I_{cl} dos passageiros em ambos os terminais teve várias oscilações de valores, como se comprova pela análise da Figura 41. A resistência térmica do vestuário no período da manhã foi sempre igual ou superior ao período da tarde, exceto no dia de ensaio #04, em Leça da Palmeira.

No CIIMAR, este índice foi determinado de uma forma mais detalhada, ou seja, os inquiridos selecionavam, a partir de uma lista, as peças que estavam a usar no momento da resposta. Os resultados mantiveram-se relativamente próximos, com um I_{cl} máximo igual a 0,88 clo e um mínimo de 0,58 clo (Figura 42).

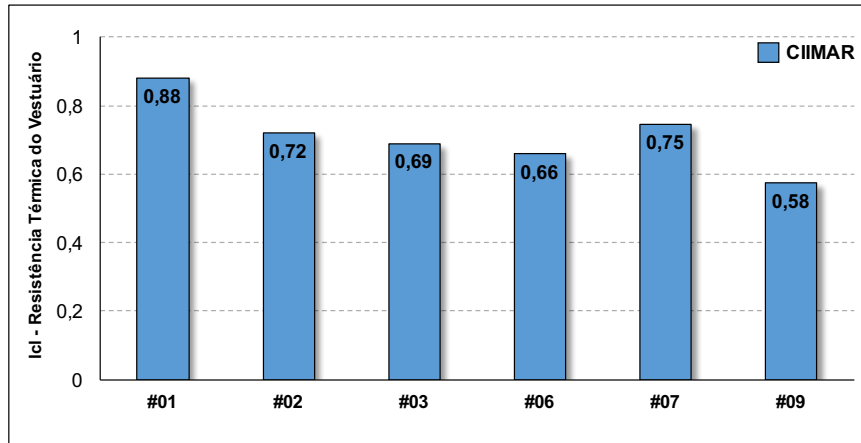


Figura 42 – Resistência térmica do vestuário nos ensaios relativos ao CIIMAR

4.2. PERCEÇÕES TÉRMICAS DOS INQUIRIDOS

As percepções térmicas dos inquiridos puderam ser analisadas através dos seguintes parâmetros: sensação térmica, preferência térmica, avaliação e tolerância térmica do ambiente interior e desconforto térmico localizado. A sensação e a preferência térmica podem ser expressas por uma escala de algarismos, num intervalo de valores entre -3 e $+3$, correspondendo os dígitos negativos à sensação/preferência de arrefecimento da envolvente e os positivos à sensação/preferência de aquecimento.

A escala utilizada para avaliar a sensação e preferência térmica encontra-se exposta no Quadro 10.

Quadro 10 – Escala de Sensação e Preferência Térmica (Adaptado de [26])

Valor	Sensação Térmica	Preferência Térmica
+ 3	Muito Quente	Muito Mais Quente
+ 2	Quente	Mais Quente
+ 1	Ligeiramente Quente	Ligeiramente Mais Quente
0	Neutro/Confortável	Igual
- 1	Ligeiramente Frio	Ligeiramente Mais Frio
- 2	Frio	Mais Frio
- 3	Muito Frio	Muito Mais Frio

A análise dos resultados, para os quatro primeiros parâmetros mencionados, foi executada em separado para os três casos de estudo (TMAT, TLP e CIIMAR) e de duas formas distintas. A primeira dividindo

as respostas por períodos do dia (manhã e tarde) e a segunda fazendo uma apreciação de todas as opiniões adquiridas conforme o género, atribuindo a letra H para o sexo masculino e a letra M para o sexo feminino.

Para o desconforto térmico localizado apenas se efetuou a divisão por períodos do dia.

4.2.1. SENSÇÃO TÉRMICA

4.2.1.1. TMAT

As perceções térmicas não apresentam uma grande variação entre os dois momentos do dia para o terminal de Matosinhos (Figura 43 a)), sendo que a maior percentagem de respostas foi para uma sensação neutra. O desconforto por aquecimento foi aquele que atingiu maiores percentagens, em relação ao arrefecimento, no conjunto dos cinco dias de ensaios.

Comparando as perceções entre homem e mulher, Figura 43 b), verificou-se que as sensações térmicas entre os dois géneros são muito semelhantes, contudo o género feminino é aquele que possui um valor médio mais elevado, em relação à sensibilidade ao calor. A percepção neutra é aquela que apresenta um maior número de respostas.

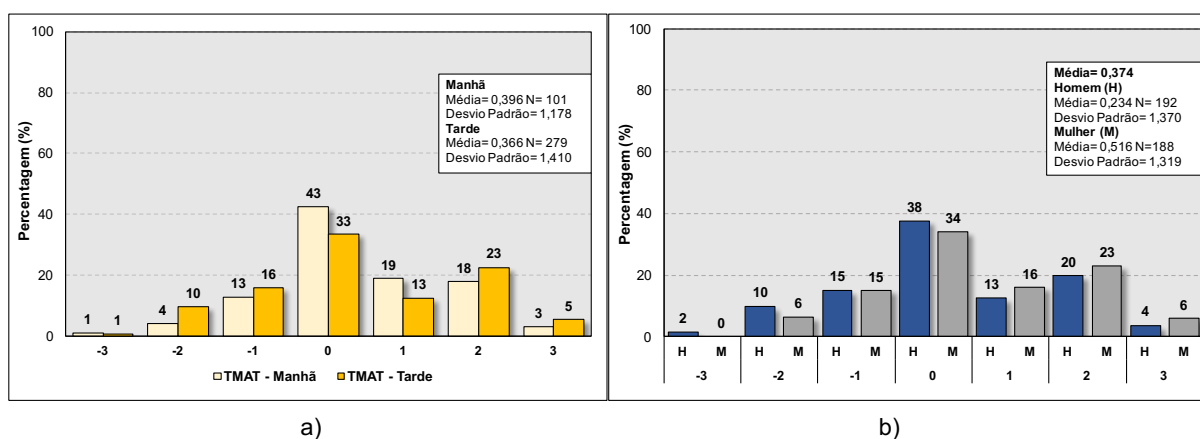


Figura 43 – Sensação térmica no TMAT: a) Período do dia, b) Género

4.2.1.2. TLP

No TLP, mais de 50% dos passageiros, nos dois períodos, classificaram o ambiente interior como neutro. A sensação de calor, tal como em Matosinhos, é mais uma vez dominante nos resultados da percepção térmica, alcançando valores médios positivos durante a manhã e durante a tarde (Figura 44 a)).

Com base na análise do gráfico da Figura 44 b) verificou-se que mais de metade dos entrevistados do sexo feminino constata o ambiente interior como neutro, todavia pelo valor médio apurou-se que o desconforto térmico por calor é superior nas mulheres relativamente aos homens.

O género feminino detém, nos dois terminais, uma maior percentagem de insatisfação por reconhecimento de um ambiente quente. As opiniões demonstradas pelos homens foram mais distribuídas, em relação a clima quente ou frio, por esse motivo os valores médios são inferiores aos obtidos para as mulheres.

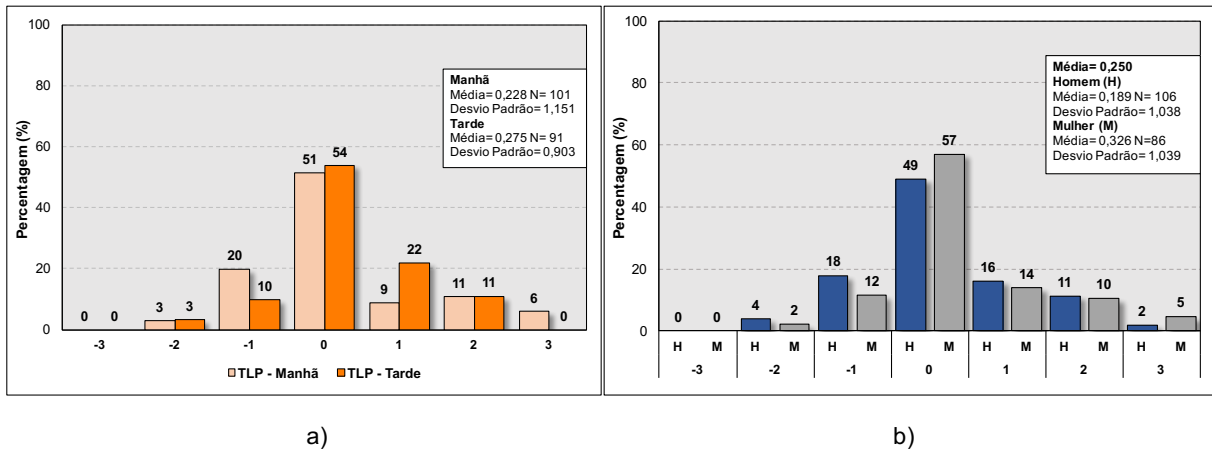


Figura 44 - Sensação térmica no TLP: a) Período do dia, b) Género

4.2.1.3. CIIMAR

Os trabalhadores do CIIMAR manifestaram que na sua maioria (51%), sentiam-se perfeitamente confortáveis com o clima interior. Contudo verificou-se que 36% dos indivíduos possuíam uma perceção “ligeiramente fria” e 5% “fria”, revelando que o desconforto por arrefecimento possui um valor significativo. O resultado da sensação média foi de -0,347 (Figura 45 a)).

Em relação à distinção por género concluiu-se, pela observação da Figura 45 b), que a sensação térmica é neutra para uma percentagem de 65% e 44% dos elementos pertencentes ao sexo masculino e feminino, respetivamente.

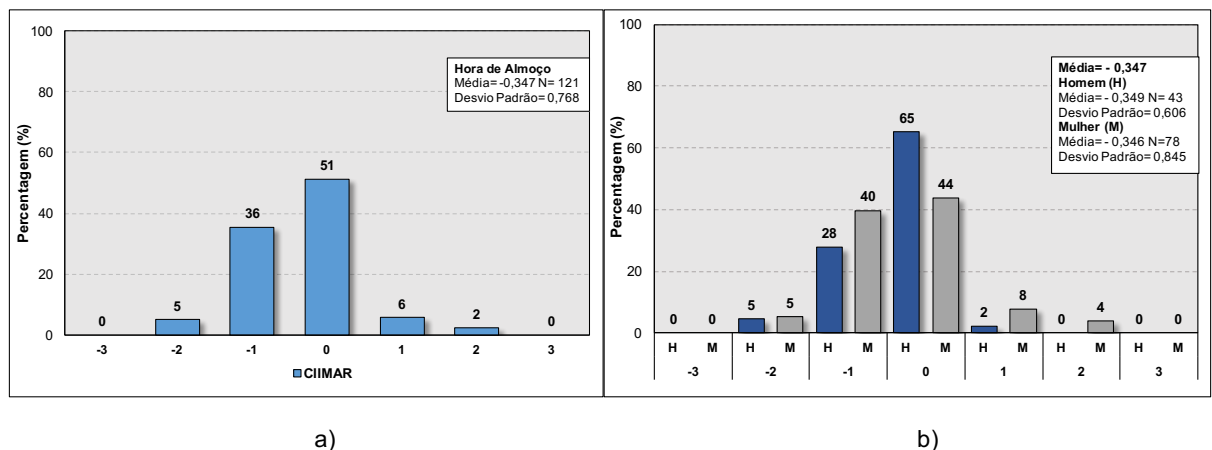


Figura 45 - Sensação térmica no CIIMAR: a) Período do dia, b) Género

4.2.2. PREFERÊNCIA TÉRMICA

4.2.2.1. TMAT

No TMAT, 58% e 68% no período da manhã e no período da tarde, respetivamente, manifestaram não querer alterar a temperatura interior de maneira a sentirem um maior conforto térmico. A percentagem de indivíduos que demonstrou que gostaria de se sentir mais quente, respostas entre +1 e +3, foi superior no início da manhã (Figura 46 a)).

No género masculino e feminino, apurou-se um maior desconforto por partes das mulheres do que dos homens, porém as diferenças são relativamente pequenas. Em termos de média, o sexo feminino pretendia um ambiente interior mais quente que o masculino (Figura 46 b)).

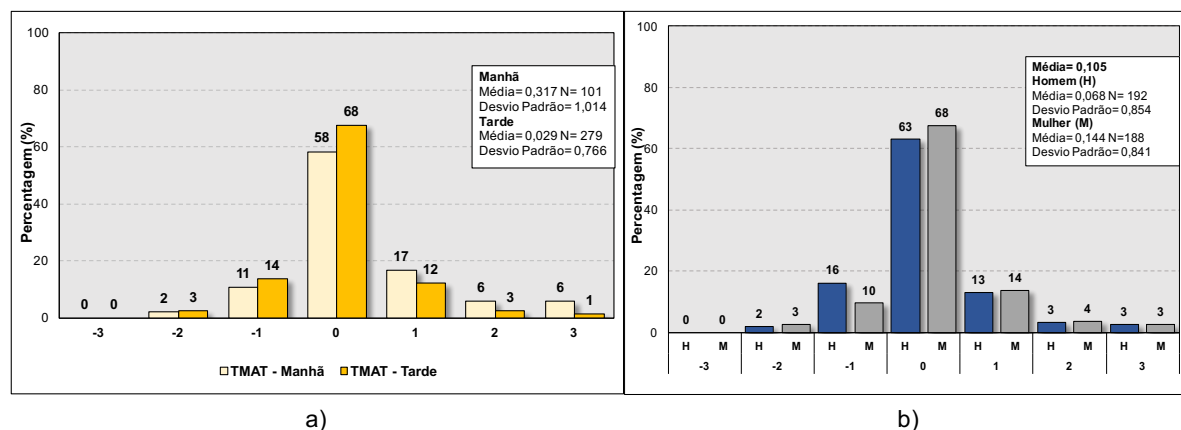


Figura 46 - Preferência térmica no TMAT: a) Período do dia, b) Género

4.2.2.2. TLP

No TLP, ainda que mais de metade dos inquiridos se tenham manifestado não querer alterar o ambiente térmico, os resultados mostraram que se sentiu um desconforto mais evidente no período da manhã, com 20% e 21%, respetivamente, a preferirem estar ligeiramente mais frios e ligeiramente mais quentes. No período da tarde verificou-se uma maior preferência pela neutralidade, com uma percentagem de 73% (Figura 47 a)).

Na análise relativa aos géneros, 70 % das mulheres exprimiram a vontade de não alterar a sua temperatura, em comparação a 58% revelados pelo sexo masculino (Figura 47 b)). O valor médio das preferências para o género feminino é igual a zero, preferência neutra, e para o género masculino ligeiramente superior a zero.

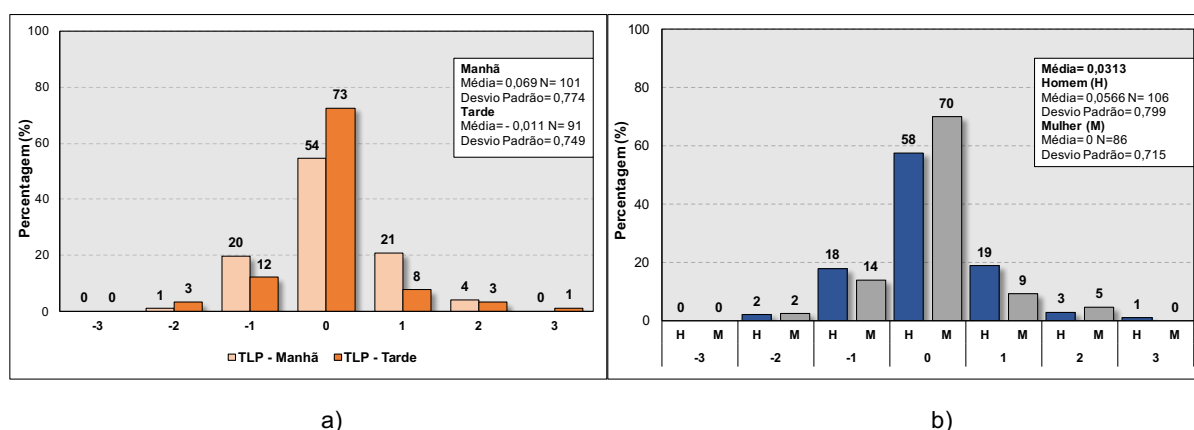


Figura 47 - Preferência térmica no TLP: a) Período do dia, b) Género

4.2.2.3. CIIMAR

Os resultados obtidos no CIIMAR mostram que 50% dos funcionários preferiam sentir-se “ligeiramente mais quentes” e apenas 32% revelaram não querer alterar a temperatura do seu local de trabalho. A partir

da análise da Figura 48 a), confere-se que 63% das pessoas optavam por estar num ambiente mais quente e apenas 6% num ambiente mais frio.

Na Figura 48 b), pode observar-se que uma percentagem superior a 50% de inquiridos do sexo feminino selecionaram a opção “ligeiramente mais quente” e 14% “mais quente”, sendo que apenas 23% estavam satisfeitos com a temperatura interior, isto é, uma votação de zero. Os elementos do género masculino, também manifestaram a preferência por um aquecimento da envolvente.

Na análise dos inquéritos desta zona, averiguou-se que apesar das pessoas terem uma sensação térmica neutra (0), estas preferiam estar “ligeiramente mais quentes”, por esse motivo a preferência térmica igual 1 possui um valor de 50% e a sensação igual a 0, 51%.

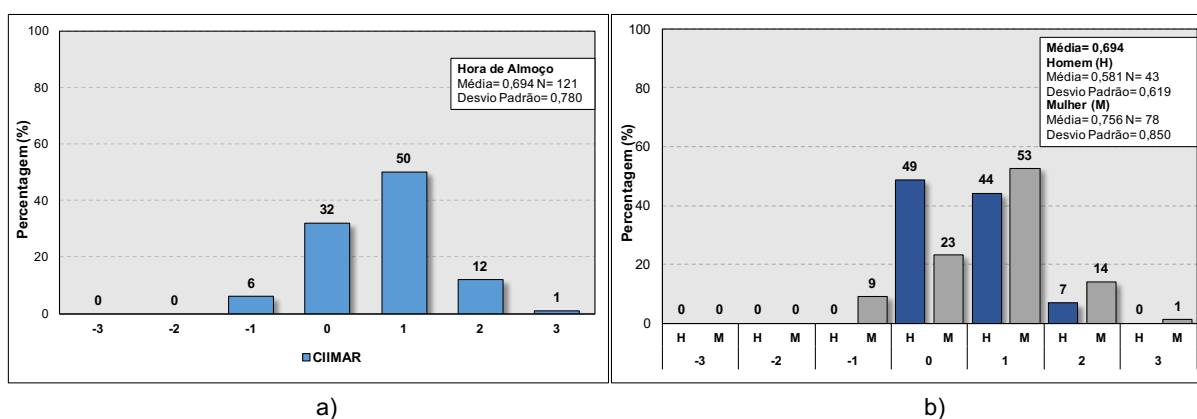


Figura 48 - Preferência térmica no CIIMAR: a) Período do dia, b) Género

4.2.3. AVALIAÇÃO E TOLERÂNCIA TÉRMICA

4.2.3.1. TMAT

No TMAT 87% dos passageiros, em ambos os momentos do dia (manhã e tarde), classificavam o ambiente como “Perfeitamente Tolerável” (Figura 49 a)). De acordo com a divisão dos resultados por género, e apesar de os pareceres serem quase unânimes, observa-se com base na análise da Figura 49 b), que o sexo masculino apresenta um maior desconforto, relativamente ao feminino.

A avaliação térmica pelos viajantes dos cruzeiros também apresentou resultados bastante positivos, mais de 80% classificaram o ambiente como “Confortável”, em ambas as avaliações, por período do dia (Figura 50 a)) e por género (Figura 50 b)). Apenas 12 % consideraram o ambiente como “Ligeiramente Desconfortável” (manhã e tarde).

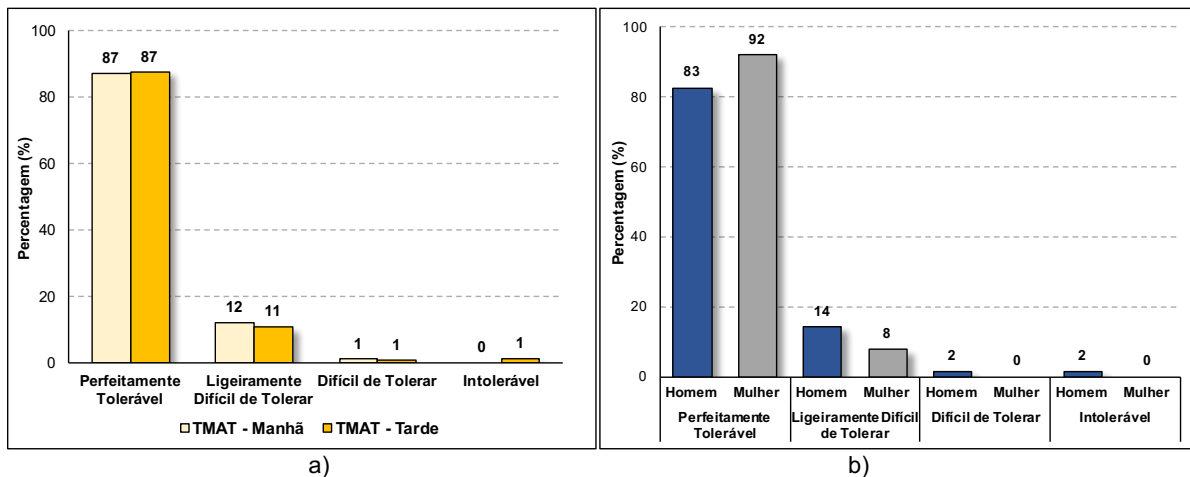


Figura 49 - Tolerância térmica no TMAT: a) Período do dia, b) Género

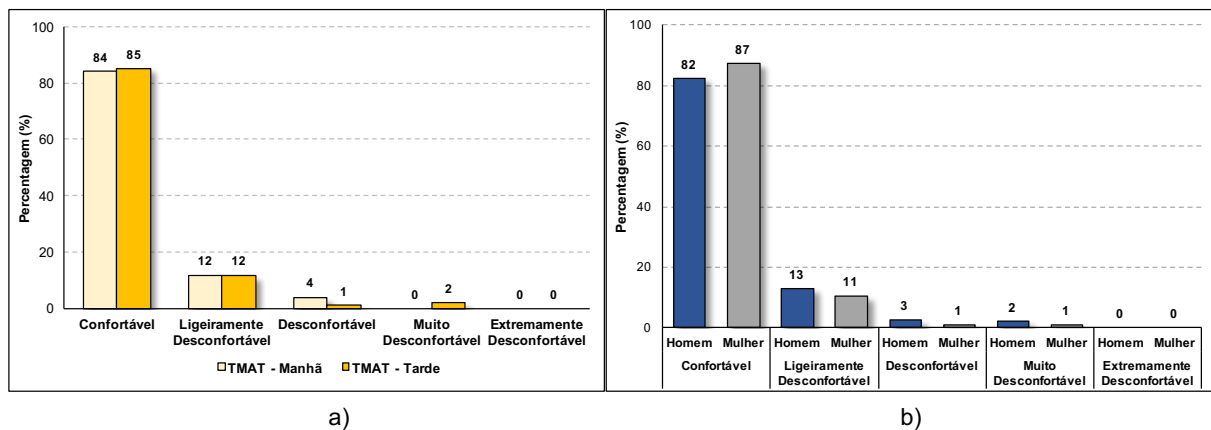


Figura 50 – Avaliação térmica no TMAT: a) Período do dia, b) Género

4.2.3.2. TLP

No TLP os passageiros classificaram, quase unanimemente, o ambiente térmico como “Perfeitamente Tolerável”. Existiu uma maior dificuldade de tolerância do ambiente no período da manhã, com 18% dos entrevistados a classificarem como “Ligeiramente Dificil de Tolerar” (Figura 51 a)).

Assim como se sucedeu no TMAT, também neste terminal, o sexo masculino manifestou uma maior dificuldade em tolerar o clima interior do edifício, com 19% de insatisfeitos no total de 5 ensaios realizados neste espaço (Figura 51 b)).

Em relação à avaliação térmica, os resultados foram muito próximos nas duas divisões, estando a opção “Confortável” em superioridade (Figura 52 a) e b)).

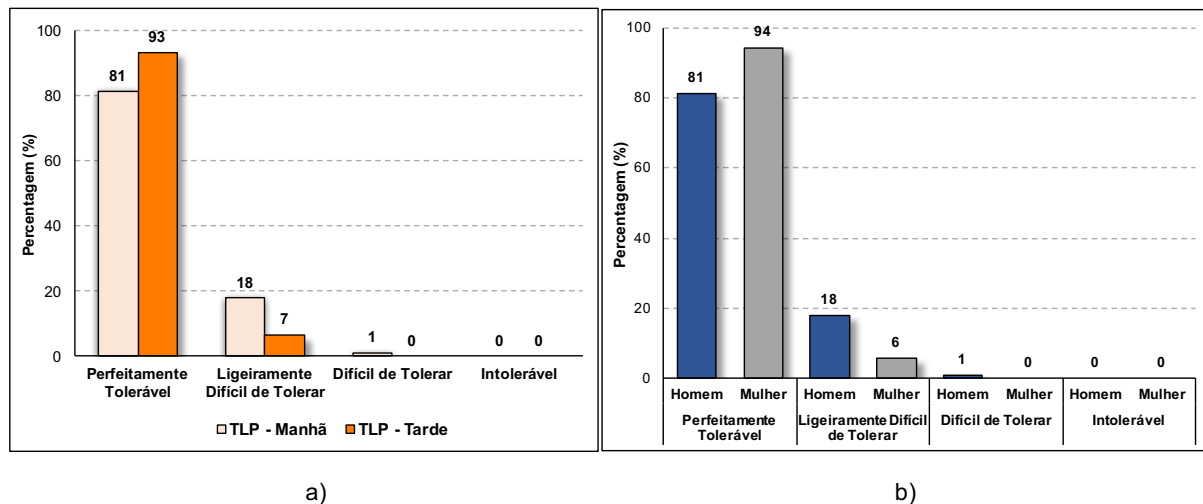


Figura 51 - Tolerância térmica no TLP: a) Período do dia, b) Género

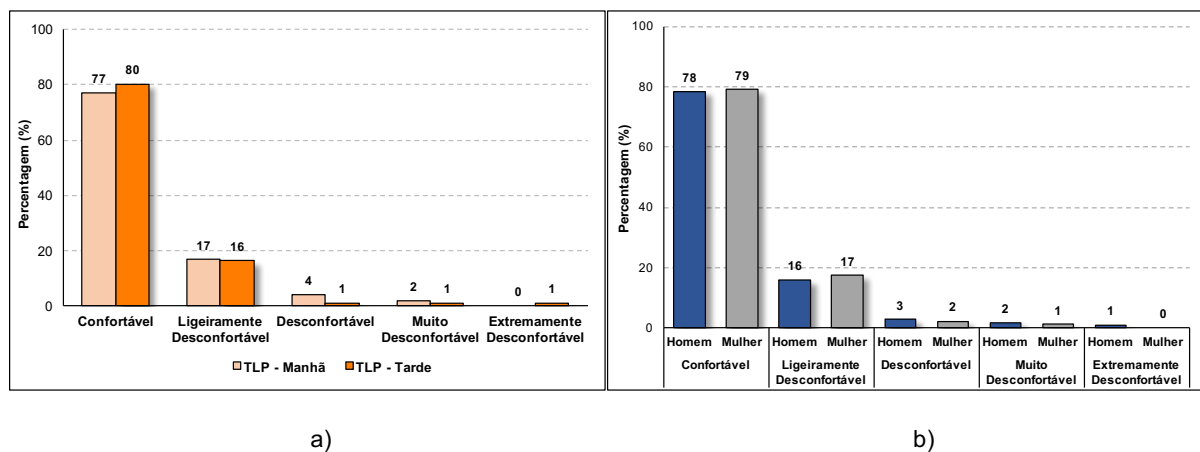


Figura 52 - Avaliação térmica no TLP: a) Período do dia, b) Género

4.2.3.3. CIIMAR

No CIIMAR 71% das respostas à pergunta “Na sua opinião, o ambiente a nível térmico é?” corresponderam à opção “Perfeitamente Tolerável” seguindo-se a alternativa “Ligeiramente Difícil de Tolerar”, com 23 % (Figura 53 a)).

A diferenciação entre géneros mostrou que o sexo feminino reconheceu um maior desconforto, quanto à tolerância, do que os elementos do sexo masculino, atingindo valores de 33% em oposição a 21%. A opção “Perfeitamente Tolerável” foi aquela que totalizou o maior número de repostas”, com 79% para os homens e 67% para as mulheres (Figura 53 b)).

A avaliação térmica geral por parte dos trabalhadores do CIIMAR mostrou que 50% dos inquiridos classificaram o ambiente interior como “Confortável”, os restantes mostraram sentir um descontentamento, considerando 35% “Ligeiramente Desconfortável”, 10% “Desconfortável” e 5% “Muito Desconfortável” (Figura 54 a)).

O sexo feminino exprimiu, na sua maioria, um maior desconforto do que o masculino (Figura 54 b)).

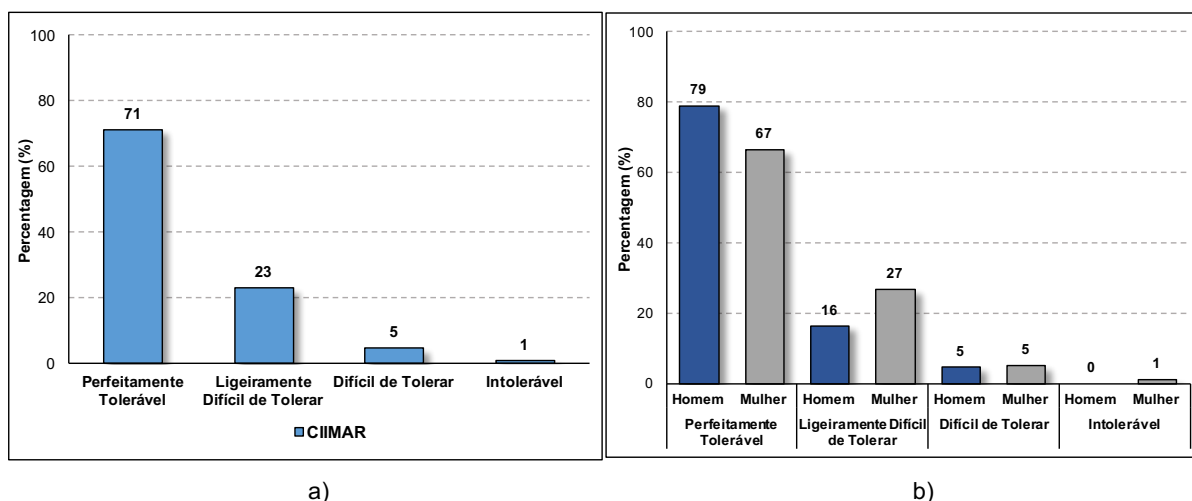


Figura 53 - Tolerância térmica no CIIMAR: a) Período do dia, b) Género

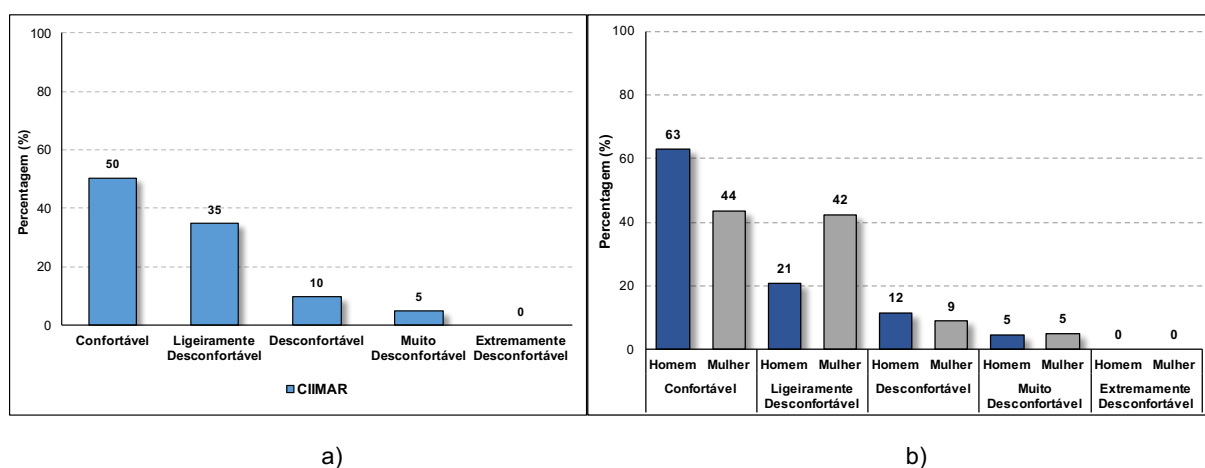


Figura 54 - Avaliação térmica no CIIMAR: a) Período do dia, b) Género

4.2.3.4. Desconforto Térmico Localizado

O ser humano pode sentir desconforto térmico em diversas partes do seu corpo, nomeadamente ao nível: da cabeça, do peito/costas ou braços, das mãos, das pernas, dos pés ou até do corpo inteiro.

Durante o decorrer dos ensaios inquiriu-se os passageiros e os elementos pertencentes ao CIIMAR acerca da existência de alguma insatisfação térmica em determinada zona do seu corpo.

A Figura 55 representa os resultados obtidos, em percentagem, do desconforto térmico localizado que os indivíduos manifestaram reconhecer, no TMAT, no TLP e no CIIMAR. É importante referir que esta questão era de carácter opcional, ou seja, as pessoas só respondiam se de facto possuíam algum tipo de descontentamento.

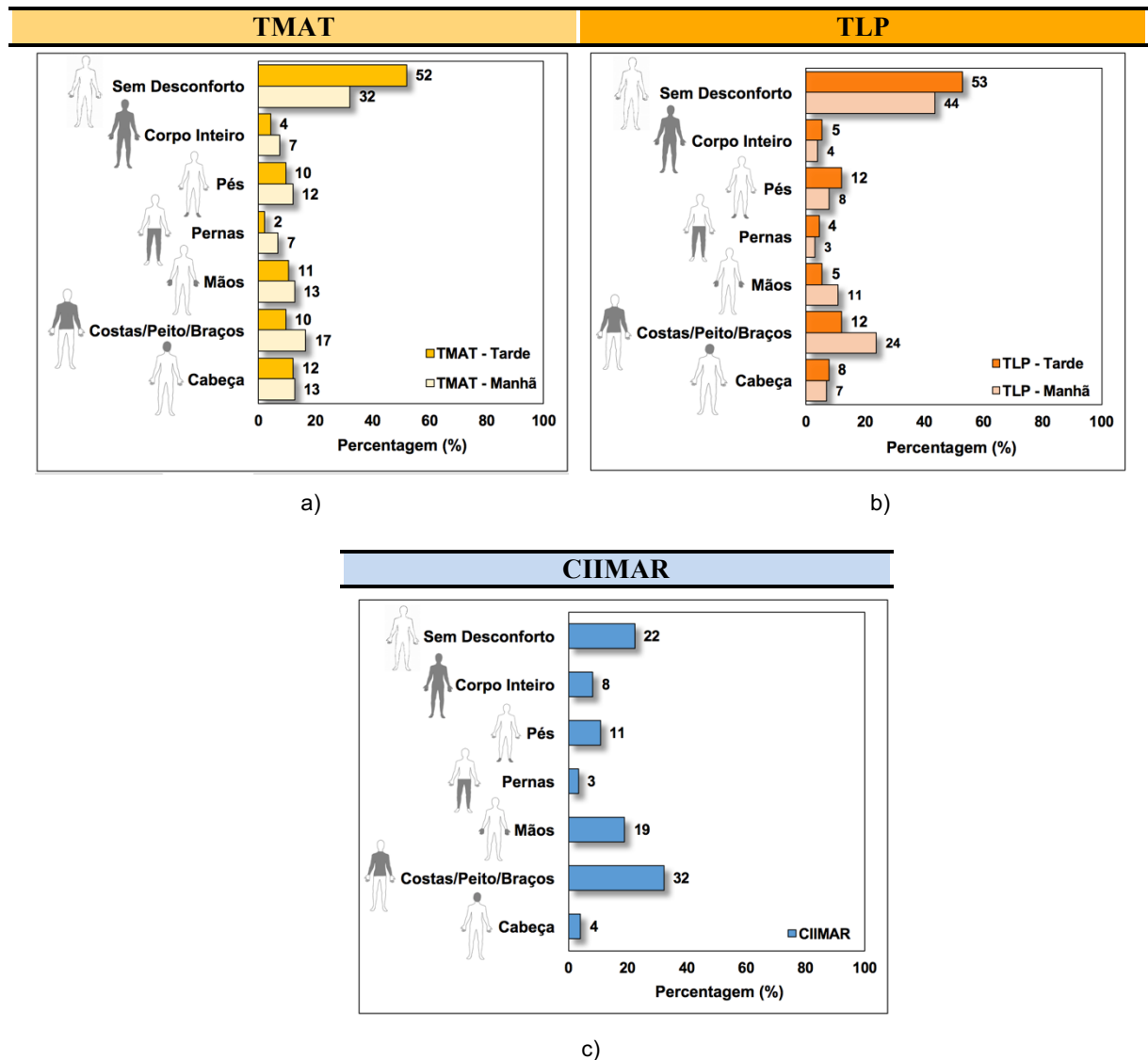


Figura 55 –Desconforto térmico localizado: a) TMAT, b) TLP e c) CIIMAR

No TMAT (Figura 55 a)) verificaram-se existir partes do corpo que tiveram percentagens de desconforto bastante próximas, nos dois períodos do dia, sendo a opção costas/peito/braços a que atingiu um maior número de votos de insatisfação, na parte da manhã, e a cabeça na parte da tarde. Os membros inferiores (pernas) obtiveram o menor valor numa análise global de todos os ensaios. Os indivíduos que responderam que não sentiam qualquer desconforto, correspondeu a uma percentagem de 52% no período da tarde e 32 % no período da manhã.

No TLP (Figura 55 b)) o número de pessoas que revelaram não sentir qualquer desconforto foi, tal como no TMAT, a que obteve uma maior percentagem de respostas em ambos os períodos. Os membros inferiores foram, novamente, a menor eleição por parte dos passageiros, e a alternativa costas/peito/braços foi a que demonstrou um maior desconforto, no início manhã, e no início da tarde estando ao mesmo nível de desconforto dos pés.

No CIIMAR (Figura 55 c)), ao contrário dos resultados expressos anteriormente, a percentagem de trabalhadores que expressaram sentir um desconforto ao nível dos membros superiores (costas/peito/braços) é superior aos que manifestaram estarem completamente confortáveis com a envolvente em redor. A cabeça e os membros inferiores foram aqueles que tiveram um menor número de votações.

4.3. MODELO ANALÍTICO

4.3.1. PMV E PPD

O modelo analítico proposto pela norma ISO 7730 [11] caracteriza-se pelo cálculo do PMV (Predicted Mean Vote) e do PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied). Neste estudo em específico estes dois índices foram estimados a partir das medições efetuadas pelo equipamento *Thermal Microclimate HD32.1*, segundo o programa A, responsável pela determinação dos parâmetros de avaliação do conforto térmico global.

A referida norma utiliza o PMV e o PPD para classificar o ambiente térmico interior em categorias. O Quadro 3, presente no capítulo 2 desta dissertação, mostra os limites relativos a essas categorias.

Para os três casos de estudo, analisou-se o gráfico da relação entre o PMV e o PPD (Figura 2), determinando-se o número de ensaios que se encontram dentro das três zonas pertencentes às categorias A, B e C, assim como os resultados que se situam fora delas.

4.3.1.1. TMA

No TMA, três dos cinco ensaios no período da tarde, relativos à amostra dos passageiros, aconteceram no piso 1 em dois locais: próximo das janelas e junto aos bancos. Em cada local a duração total do ensaio foi de 30 minutos, 15 minutos por cada programa (A e B).

Para essas duas avaliações de conforto e desconforto térmico, considerou-se relevante a organização e posterior análise dos resultados, com o objetivo de verificar se de facto existiam diferenças significativas entre os dois locais. A Figura 56, exprime os resultados da média, \bar{X} , e do desvio padrão, σ , obtidos para os parâmetros ambientais e índices PMV e PPD nos dois lugares.

TMA - Piso 1							
Parâmetro	Variável	#02		#03		#09	
		Análise Janelas	Análise Bancos	Análise Janelas	Análise Bancos	Análise Janelas	Análise Bancos
Ta (°C)	X	20,1	20,4	20	19,8	23,2	22,5
	σ	0,162	0,104	0,056	0,118	0,121	0,165
HR (%)	X	42,3	41,8	52,9	54,5	48,7	51,3
	σ	0,516	0,640	0,175	0,550	0,357	0,544
Va (m/s)	X	0	0,06	0,03	0,04	0,02	0
	σ	0,038	0,057	0,035	0,035	0,033	0,013
Tmr (°C)	X	20,55	20,4	20,6	20,4	24	23
	σ	0,515	0,176	0,085	0,241	0,150	0,574
PMV	X	-1,43	-1,42	-1,33	-1,39	-0,7	-0,97
	σ	0,079	0,081	0,020	0,045	0,038	0,112
PPD (%)	X	47,165	46,74	42,01	45,16	15,39	25,05
	σ	4,147	4,383	1,009	2,320	1,123	4,147

Figura 56 – Resultados de parâmetros medidos na análise feita para os locais junto às janelas e aos bancos

Os valores médios medidos no mesmo dia, para os dois espaços, encontram-se bastantes próximos, no caso dos parâmetros ambientais (T_a , v_a , T_{mr} e HR). Contudo existiram ensaios em que as variáveis possuíam uma maior desigualdade. No dia correspondente à referência #09, houve uma diferença significativa entre o PMV e consequentemente, o PPD dos dois locais. Por esse motivo considerou-se importante verificar qual era a variação do PMV, no tempo, nas medições junto às janelas e junto aos bancos (Figura 57).

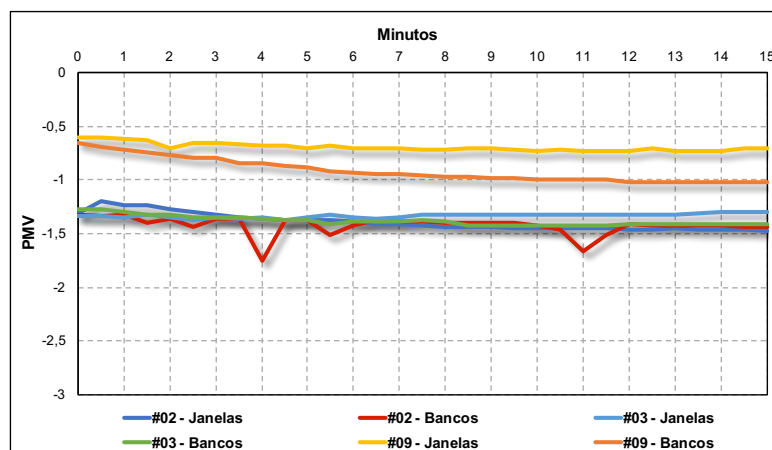


Figura 57 – Variação do PMV em função do tempo

Durante os 15 minutos de ensaio do programa A, num intervalo de registo de 30 segundos, nos dias #02 e #03 o PMV é bastante próximo. Constatam-se também duas grandes variações correspondentes à medição do dia #02, junto aos bancos, avaliando uma maior sensação de frio no local (PMV mais baixo). Estas instabilidades deveram-se a um aumento repentino da velocidade do ar, possivelmente em consequência da passagem de um indivíduo próximo do equipamento.

O PMV atingiu resultados superiores no ensaio do dia #09, isto é, um ambiente mais quente e uma diferença mais significativa entre as análises bancos e janelas.

No entanto, em virtude de não ter existido a separação dos inquéritos executados entre estas duas áreas e os valores medidos possuírem uma diferença baixa, excetuando no ensaio anterior, assumiu-se neste piso apenas um local de medição. Ou seja, o PMV e o PPD final correspondem à média destes dois espaços em conjunto.

A partir da Figura 58 a) e b), observa-se a distribuição oficial obtida e o número de ensaios que se encontram dentro e fora das três categorias, respetivamente.

Analisando o modelo analítico, existiu uma grande dispersão dos resultados médios dos ensaios, nos dois períodos do dia (manhã e tarde), atingindo-se valores de PMV (negativos) e PPD quer elevados, quer baixos.

Pode-se concluir que no período da tarde existe um maior desconforto, devido ao facto de três dos cinco ensaios correspondentes a este momento, se encontrarem fora das três zonas admissíveis. Contudo, também existem duas medições no período da manhã que apresentaram PMV baixos e PPD elevados.

A categoria B, correspondente aquela que a ASHRAE 55 [10] define como sendo a ideal para existir um conforto térmico interior, contém um ensaio no início da manhã e dois realizados no início da tarde, pertencentes ao intervalo de valores aceitáveis.

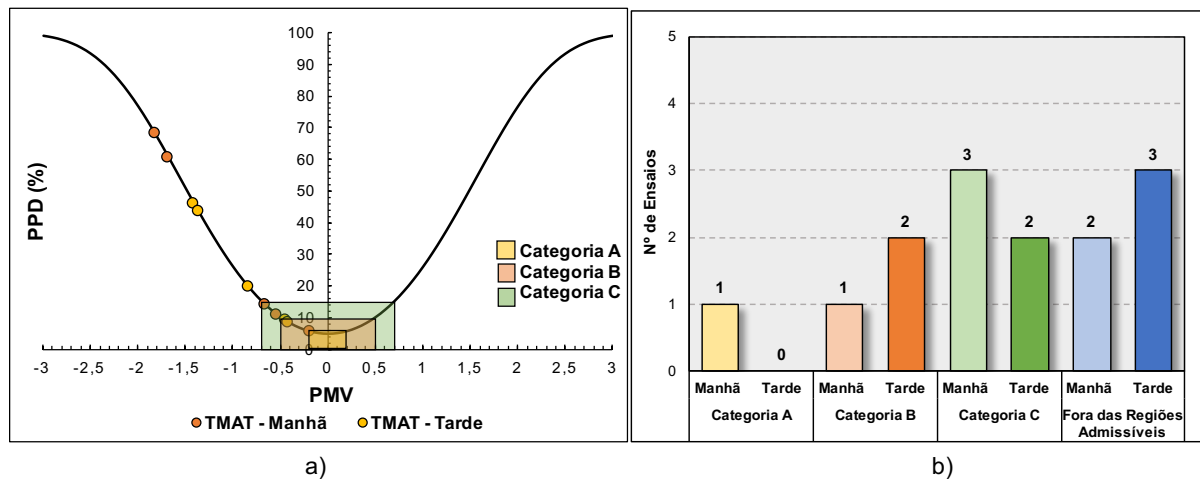


Figura 58 – a) Relação PMV e PPD b) N° de Ensaio pertencentes a cada categoria

4.3.1.2. TLP

No TLP verificou-se um aumento do número de ensaios na categoria A ($-0,2 < PMV < +0,2$), e ao contrário do TMAT, o período da manhã tem uma maior percentagem de valores fora das regiões admissíveis (Figura 59 a) e b)).

A categoria B possui duas medições, de manhã, e uma de tarde, dentro do intervalo $-0,5 < PMV < +0,5$, compatível ao que a ASHRAE 55 [10] define como aceitável para uma satisfação térmica dentro de um edifício.

O valor máximo de PPD está associado a um PMV negativo, sendo mesmo assim, inferior ao máximo alcançado no TMAT.

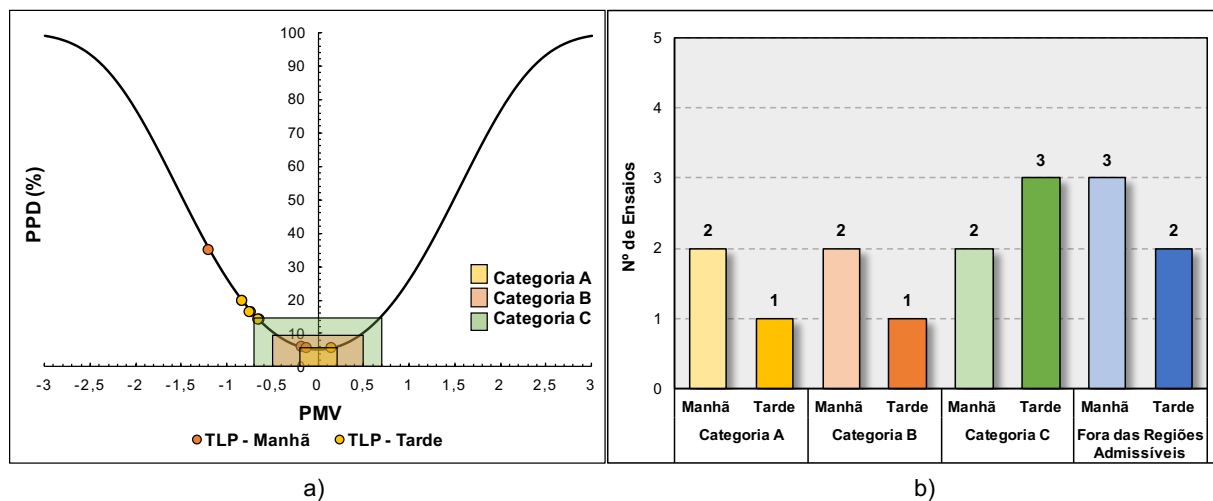


Figura 59 - a) Relação PMV e PPD b) N° de Ensaio pertencentes a cada categoria

4.3.1.3. CIIMAR

No CIIMAR, o PMV e o PPD situaram-se mais de metade das vezes no interior da região correspondente à categoria C (Figura 60 a) e b)).

Um dos ensaios encontra-se dentro do intervalo associado à categoria A e dois destes localizam-se fora dos limites admissíveis, sendo que somente um se posiciona na categoria B.

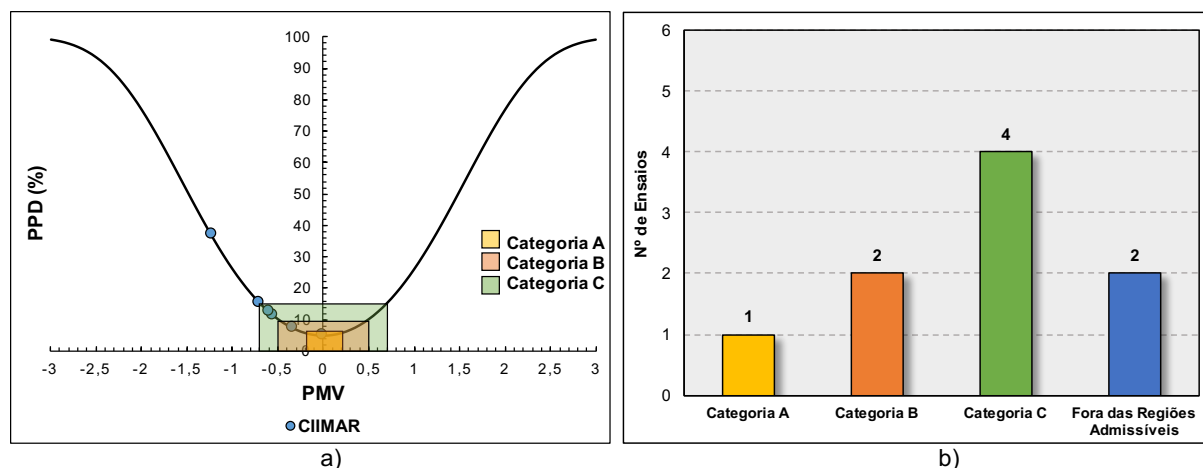


Figura 60 - a) Relação PMV e PPD b) N° de Ensaios pertencentes a cada categoria

4.3.2. DESCONFORTO TÉRMICO LOCALIZADO

A mesma norma, ISO 7730 [11], define um conceito denominado de desconforto térmico localizado, podendo ser provocado por: correntes de ar, diferenças de temperatura na vertical, pavimentos demasiado quentes ou frios e assimetrias de temperatura radiante. Os parâmetros anteriores foram estimados, através do equipamento *Thermal Microclimate HD32.1*, segundo o programa B, excetuando a taxa de corrente de ar determinada de acordo com o programa A.

Nos seguintes subcapítulos estão expostos os resultados que se obtiveram em todos os ensaios para os conceitos anteriores, e os respetivos limites de cada categoria (A, B e C) propostos pela ISO 7730 [11] e explicitados no Quadro 6 do capítulo 2.

As determinações relativas à assimetria de temperatura radiante não foram consideradas para o tratamento de dados, devido ao facto de as percentagens de insatisfeitos, PD [%], serem muito baixas e por esse motivo não tem qualquer interferência no conforto térmico.

4.3.2.1. Taxa de Corrente de Ar

A taxa de corrente de ar, DR [%], depende dos seguintes parâmetros: velocidade do ar [v_a], temperatura do ar [T_a] e intensidade de turbulência do ar [T_u]. A intensidade de turbulência do ar assumiu-se como 40%, em todas as medições. Todos valores de velocidade do ar, obtidos durante os ensaios para esta taxa, inferiores a 0,05 m/s foram modificados, considerando-se iguais a 0,05 m/s. O mesmo sucedeu-se com $DR > 100\%$, substituindo-se por 100%.

Ambas as condições referidas anteriormente encontram-se explícitas na norma ISO 7730 [11].

De forma a avaliar a taxa de corrente de ar calculou-se para cada ensaio realizado nos três casos de estudo, o valor máximo e médio de DR, e representou-se a partir de diagramas de caixas os resultados obtidos, expressos na Figura 61, Figura 62 e Figura 63.

No TMAT as percentagens médias de DR, são relativamente baixas, não sendo superiores a 10% no caso das medições realizadas no período da tarde e a 4% no período da manhã (Figura 61 b)). Em relação aos máximos atingidos, os diagramas representam como valor médio entre 20% e 30% nos dois momentos do dia (manhã e tarde), sendo que o máximo alcançado no conjunto dos cinco ensaios foi inferior a 60% ((Figura 61 b)).

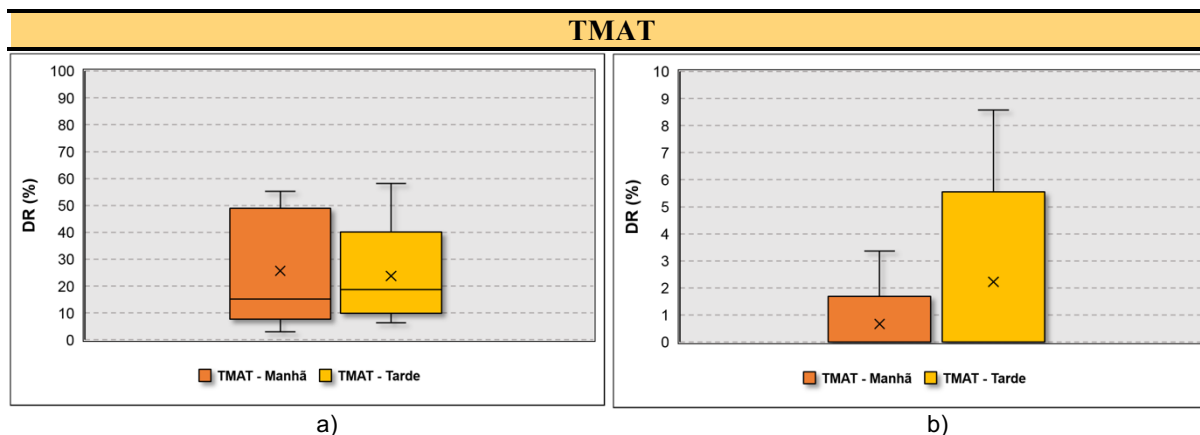


Figura 61 – Distribuição das percentagens de DR: a) máximas b) médias

No TLP a taxa de corrente de ar totaliza percentagens superiores ao TMAT, quer em valores máximos, quer em valores médios. Registaram-se percentagens de 100%, em ambos os períodos, com intervalos de máximos superiores ao TMAT (Figura 62 a)). Relativamente à Figura 62 b), a média representada na caixa de bigodes é maior do que atingida no caso anterior, situando-se nos 10%.

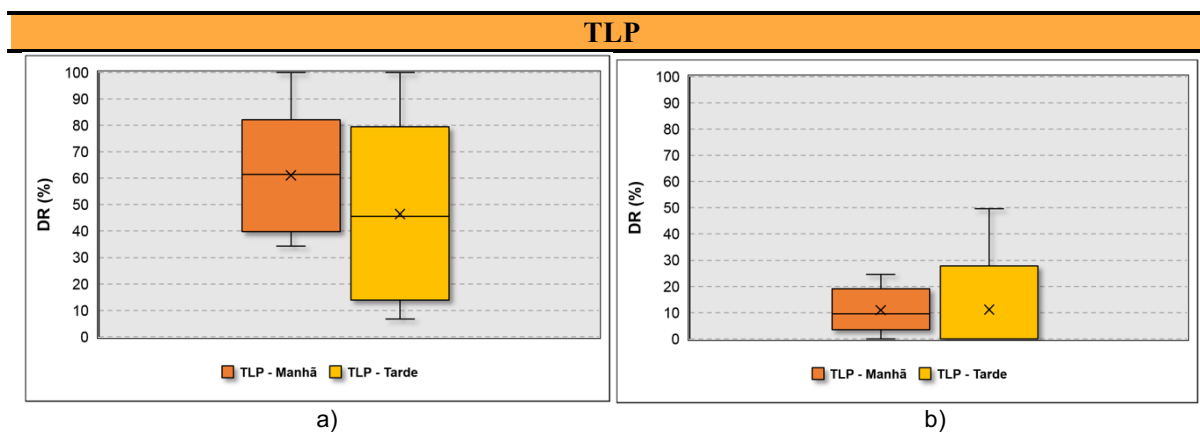


Figura 62 - Distribuição das percentagens de DR: a) máximas b) médias

No CIIMAR obtiveram-se, novamente, DR=100%, porém a média dos valores máximos é inferior à medida no TLP (Figura 63 a)). O conjunto dos resultados médios dos seis ensaios realizados, situa-se num intervalo entre 10% e 20%, similares aos conseguidos no TLP (Figura 63 b)).

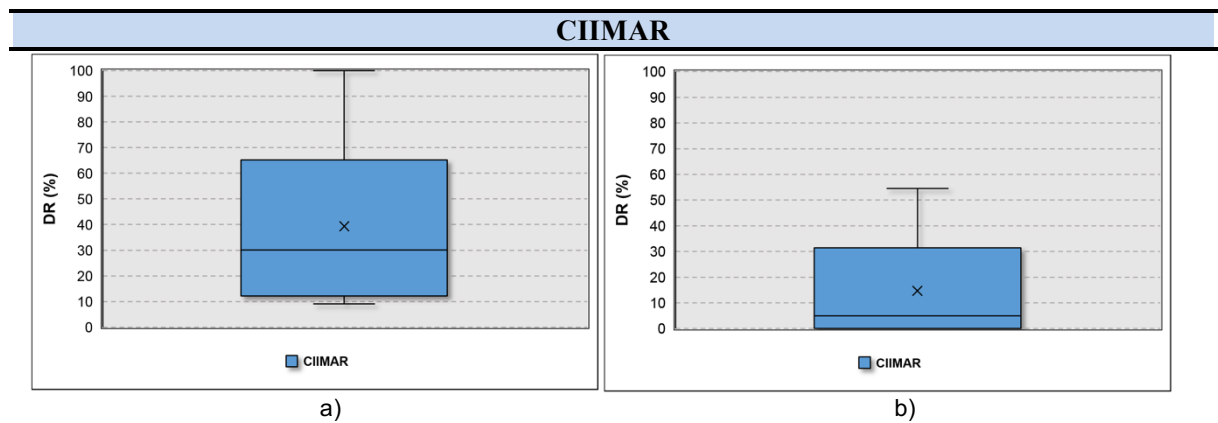


Figura 63 - Distribuição das percentagens de DR: a) máximas b) médias

A norma ISO 7730 [11], define, em cada categoria, as seguintes condições a cumprir para a variável DR [%]:

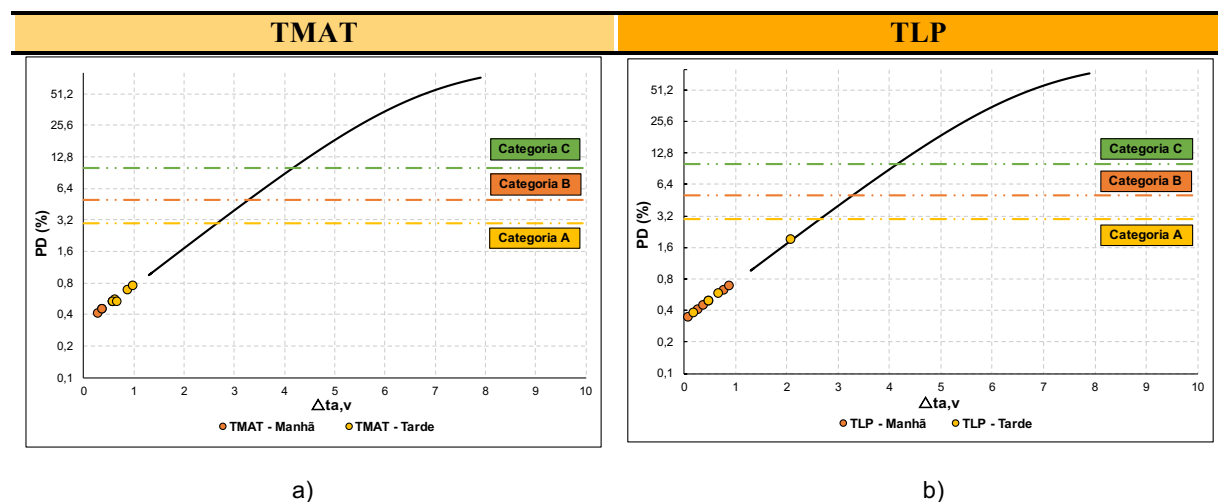
- Categoria A – $DR < 10\%$
- Categoria B – $DR < 20\%$
- Categoria C – $DR < 30\%$

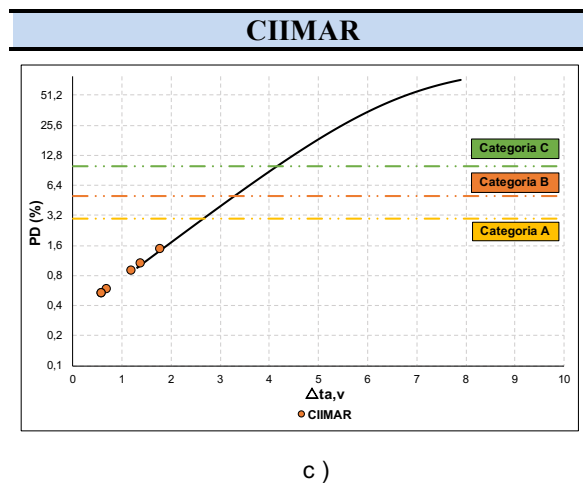
A partir dos dados anteriores, verifica-se que no caso de estudo TMAT todos os valores médios registados encontram-se dentro dos limites da categoria A. O TLP e o CIIMAR totalizam resultados superiores, contudo a média obtida nos diagramas de caixa da Figura 62 b) e Figura 63 b), atinge valores pertencentes à categoria B.

4.3.2.2. Diferença de Temperatura na Vertical

A diferença de temperatura na vertical [$\Delta t_{a,v}$ °C], calcula-se com base na diferença de temperatura do ar entre a cabeça e os pés. A ISO 7730 [11] estabelece uma relação entre esta grandeza e a variável PD [%], que define a percentagem de indivíduos insatisfeitos com esta variação.

As diferenças de temperatura obtidas, o respetivo índice PD (%) e os limites propostos por cada categoria encontram-se explícitos nos gráficos da Figura 64, para os três casos de estudo.





c)

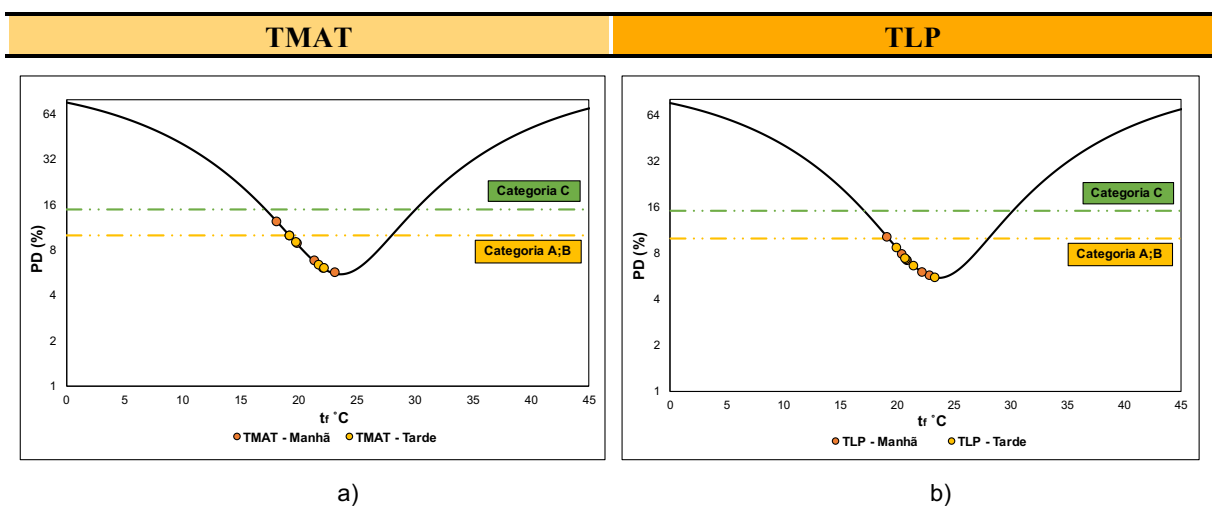
Figura 64 – Diferença de temperatura na vertical: a) TMAT, b) TLP e c) CIIMAR

Os resultados, para as três situações acima, posicionam-se abaixo dos limites propostos pelas três categorias. No caso do TMAT e TLP, o $\Delta t_{a,v}$ encontra-se presente na sua maioria no intervalo de PD entre 0,4% e 0,8%. O mesmo não acontece no CIIMAR, em que o valor destas diferenças e consequentemente do índice PD atinge percentagens mais elevadas, entre 0,4% e 1,6%.

4.3.2.3. Pavimento Demasiado Quente ou Frio

O tratamento global de todos os ensaios, em relação à temperatura do pavimento [t_r], e a representação dos limites de cada categoria encontram-se expressos na Figura 65.

No TLP e no CIIMAR todos os valores de PD [%], encontram-se dentro ou no limite da categoria A e B (Figura 65 b) e c)). A ISO 7730 [11] define para estas duas categorias a mesma percentagem de insatisfeitos. No TMAT apenas um ensaio se localizou fora das categorias A e B, mas ainda assim cumpre os limites da C (Figura 65 a)).



a)

b)

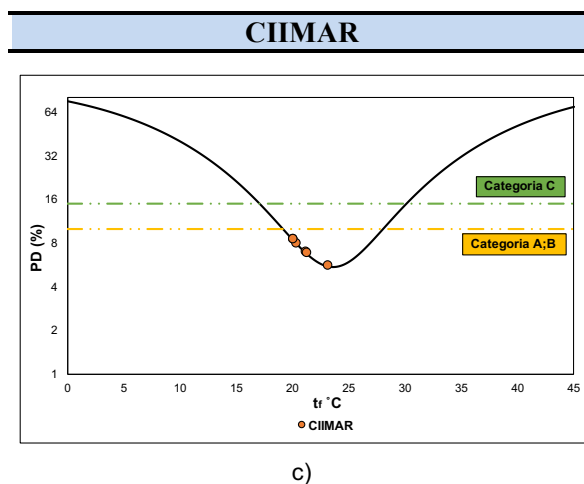


Figura 65 - Pavimento demasiado frio ou quente: a) TMAT, B) TLP e c) CIIMAR

4.4. PRINCIPAIS CONSIDERAÇÕES

- Nos três casos de estudo, o maior número de entrevistados sucedeu-se no TMAT e o menor no CIIMAR;
- A maior variação de pesos e alturas verificou-se no CIIMAR, ocorrendo o oposto para as diferenças de idades;
- Os passageiros viajavam em média com um companheiro de viagem, sendo que o seu período de permanência no edifício sofreu variações no decorrer dos ensaios. Em relação à sua proveniência, os indivíduos eram maioritariamente de climas temperados;
- Mais de 50% dos indivíduos, nos três casos de estudo, mantinham uma prática de atividade física de 1 a 3 vezes por semana e a forma como se sentiam no momento do inquérito era normal;
- A votação dos inquiridos revelou que a sensação neutra é aquela que tem um maior número de votos, em cada um dos locais de medição. Constatou-se também um desconforto por arrefecimento no CIIMAR;
- No TMAT e TLP a preferência identificada é por ambientes neutros e no CIIMAR por ambientes ligeiramente mais quentes;
- A partir da escolha dos passageiros, o desconforto localizado verificou-se em maior escala no período da manhã, em ambos os terminais. No CIIMAR o desconforto térmico localizado é superior à ausência de insatisfação;
- O PMV e consequentemente o PPD sofreram maiores variações no TMAT, totalizando menores diferenças no TLP e no CIIMAR;
- Os diversos parâmetros de desconforto térmico localizado cumprem, na sua maioria, os requisitos propostos pela norma ISO 7730 [11] para a categoria A. As taxas de corrente de ar no TLP e no CIIMAR atingiram percentagens mais elevadas, contudo a média expressa no diagrama de caixa situa-se entre 10% e 20%, logo no intervalo pertence à categoria B.

5

ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

5.1. PERCEÇÃO TÉRMICA MÉDIA E ÍNDICES ANALÍTICOS – ANÁLISE GERAL

Na análise geral entre a percepção térmica média e os índices analíticos procedeu-se à comparação entre os resultados medidos do PMV e a sensação térmica manifestada pelos inquiridos, através dos seus valores médios. Para além desta comparação, executou-se uma adicional entre a STM (sensação térmica média) e a PTM (preferência térmica média).

As duas relações anteriores foram efetuadas por dia de ensaio, em cada um dos períodos (manhã e tarde), e para os três casos de estudo com as referências: TMAT, TLP e CIIMAR.

No caso do PMV, modelo analítico, o valor médio foi conseguido a partir dos registos obtidos nos 15 minutos de medição. Para a sensação e preferência térmica média, determinou-se a média das respostas às perguntas “Como se sente neste momento?” e “Neste momento, como gostaria de estar?”, respetivamente.

As situações ideais representadas nos gráficos correspondem às igualdades $PMV=STM$ e $STM=-PTM$, e têm os seguintes significados:

- $PMV=STM$ – A sensação térmica dos indivíduos é igual ao PMV medido pelo equipamento, não existindo discrepância entre os resultados das duas variáveis;
- $STM=-PTM$ – A sensação e a preferência térmica média são inversamente proporcionais, ou seja, para uma sensação negativa (frio) a preferência é positiva (calor).

Um dos grandes objetivos deste estudo é verificar se a avaliação do conforto térmico pelo modelo analítico proposto pela ISO 7730 [11], poderá ser aplicado nos locais em estudo.

5.1.1. TMAT

Na Figura 66 a) e b) estão representadas, nesta mesma ordem, as relações PMV versus STM, STM versus PTM e as respetivas correlações para os dois períodos.

A referência TMAT – Manhã, corresponde aos cinco ensaios efetuados no piso 0 nesse mesmo período. A referência TMAT – Tarde representa as cinco avaliações realizadas no início da tarde, três no piso 1 e as duas no piso 0.

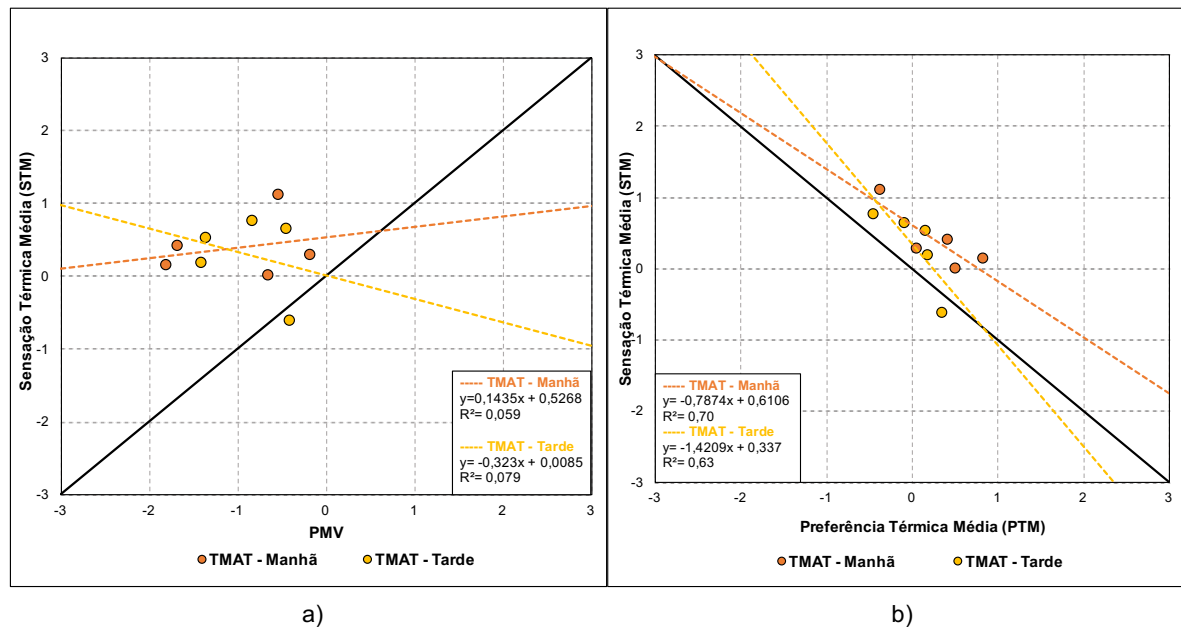


Figura 66 – Comparação no TMAT entre: a) PMV e STM b) STM e PTM

A partir da análise da Figura 66 a), verifica-se que a correlação, R^2 , entre as duas variáveis é muito baixa, obtendo-se um valor inferior a 0,1 em ambos os períodos. Para um PMV negativo, isto é, uma sensação de frio medida pelo equipamento, as pessoas expressavam que identificavam um ambiente interior quente. Conclui-se que para estes espaços não existe uma analogia entre os dois parâmetros, e que a avaliação térmica destes locais com recurso ao modelo analítico, poderá não alcançar resultados fidedignos.

Na comparação da sensação com a preferência térmica média (Figura 66 b)) alcançou-se um coeficiente de determinação R^2 , bastante aceitável, existindo, desta forma, uma boa correlação entre as duas variáveis. Para perceções de um ambiente térmico quente (STM positivo), os indivíduos optavam por estar termicamente mais frios (PTM negativo ou igual a zero).

5.1.2. TLP

No TLP não se deparou com os mesmos inconvenientes do terminal de Matosinhos, devido ao facto de os passageiros se movimentarem apenas no piso 0 e por essa razão os ensaios eram realizados sempre nesse local. A referências TLP – Manhã e TLP - Tarde, correspondem às medições/inquéritos executadas nesses mesmos períodos.

A Figura 67 a) mostra que os resultados atingidos no TLP são muito mais adequados, em comparação com os anteriores. No período da tarde, o R^2 é igual a 0,79, mostrando alguma convergência entre as medições e a percepção dos indivíduos. Durante a manhã, o R^2 foi de 0,44, inferior ao mencionado previamente, havendo assim uma menor correlação.

No TLP - Tarde a linha de tendência tem um ajuste adequado da preferência em contraste à sensação térmica média, sucedendo-se uma grande aproximação à regressão linear ideal $STM = -PTM$. No momento correspondente ao ensaio da manhã (TLP – Manhã) o coeficiente R^2 é bastante baixo e por essa razão apresenta uma correlação linear fraca, próxima de zero (Figura 67 b)).

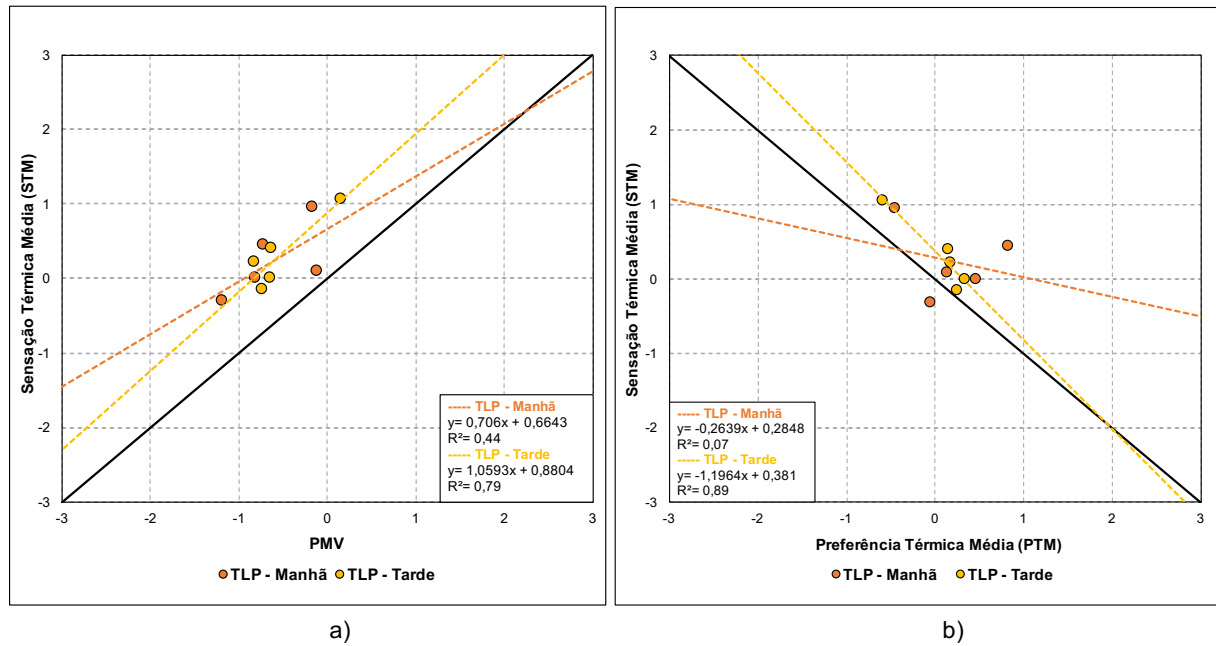


Figura 67 - Comparação no TLP entre: a) PMV e STM b) STM e PTM

5.1.3. CIIMAR

No CIIMAR existiu somente um período de medições e por esse motivo só se observa uma série de dados nos dois gráficos da Figura 68. As respostas dadas pelos inquiridos encontram-se dentro de uma região admissível, isto é, para um PMV negativo (frio) a STM também é negativa (sensação de frio). No entanto não existe um ajuste perfeito entre as duas variáveis, obtendo-se um $R^2=0,44$ (Figura 68 a)).

Em relação à sensação e preferência térmica (Figura 68 b)), em cinco dos seis valores médios correspondentes aos ensaios, existiu uma sensação térmica de frio e por essa razão uma preferência por um ligeiro aquecimento. A reta apresenta uma concordância satisfatória face à situação ideal ($R^2=0,76$).

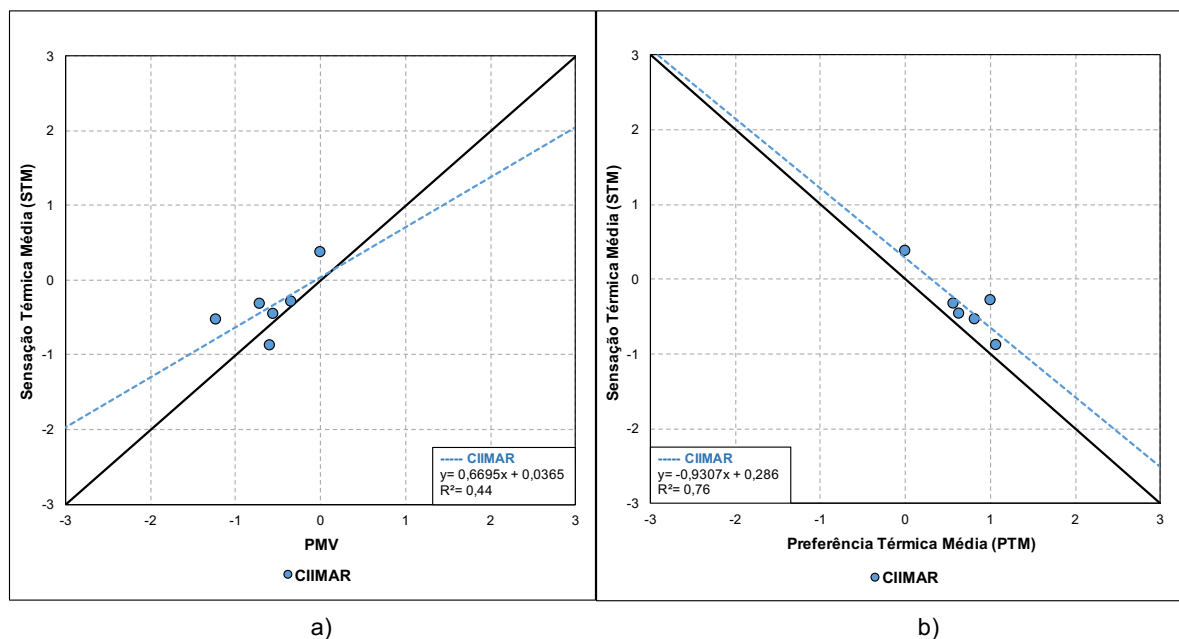


Figura 68 - Comparação no CIIMAR entre: a) PMV e STM b) STM e PTM

5.1.4. PRINCIPAIS CONSIDERAÇÕES

- No TMAT as correlações entre os índices PMV e STM, são muito baixas, não estando as duas variáveis em concordância. Devido ao desajuste de resultados, conclui-se que a avaliação do conforto térmico a partir deste modelo, não é viável para este caso de estudo;
- No TLP existiu um melhor ajuste entre o modelo analítico e a sensação real dos entrevistados, originando coeficientes de correlação muito superiores aos do caso de estudo anterior;
- No CIIMAR a comparação entre as medições e as votações dos inquiridos é satisfatória, conseguindo-se PMV e STM negativos (ambiente interior frio);
- Na comparação entre a STM e a PTM, todos os casos de estudo atingiram R^2 apropriados, excetuando o período da manhã no TLP, em que é relativamente baixo.

5.2. PERCEÇÃO TÉRMICA, ÍNDICES ANALÍTICOS E TEMPERATURA OPERATIVA

No sentido de verificar se existe uma melhor correlação entre os dados medidos e as repostas dos inquiridos, considerou-se relevante a utilização de mais um parâmetro, a temperatura operativa [T_{op} em °C], gerando-se assim gráficos com tripla entrada (dois eixos das ordenadas e um eixo das abcissas). A temperatura operativa é dependente dos seguintes parâmetros: a temperatura do ar [T_a em °C], a temperatura média radiante [T_{mr} em °C] e a velocidade do ar [v_a em m/s].

Cada figura apresenta a relação entre a temperatura operativa e as duas variáveis PMV e STM.

A análise procedeu-se, mais uma vez, para os três casos de estudo, não havendo a separação de momentos do dia.

5.2.1. TMAT

A regressão linear entre a temperatura operativa e o PMV, expressa na Figura 69, mostra uma correlação mais forte entre estas duas últimas variáveis do que em relação à mesma temperatura e a STM.

Ao aumento da temperatura operativa corresponde um crescimento do índice PMV. De acordo com a correlação conseguida, obtêm-se sensações de frio ($PMV < 0$) para uma temperatura operativa abaixo de 25,4 °C, algo considerado pouco habitual.

Relativamente à sensação térmica média, a sensação de neutralidade corresponde a uma temperatura operativa de 17,2 °C, aproximadamente.

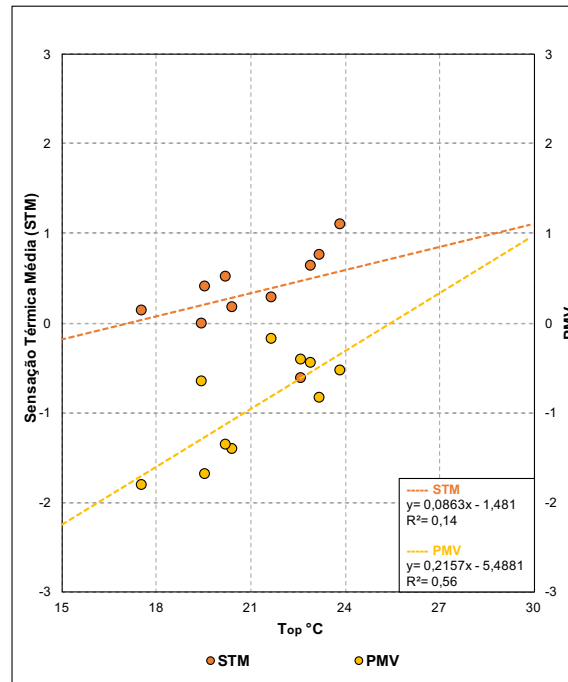


Figura 69 – Relação entre T_{op} , STM e PMV no TMAAT

5.2.2. TLP

Na Figura 70 constata-se uma boa correlação linear entre as comparações da temperatura operativa com a sensação térmica e o PMV. A percepção térmica identificada pelos passageiros (STM) aumenta com a temperatura operativa, o mesmo acontece com o índice pertencente ao modelo analítico.

De acordo com as correlações lineares obtidas, ao valor de $PMV=0$ corresponde uma temperatura operativa de cerca de 25 °C e à sensação térmica de neutralidade corresponde uma temperatura de 20,6 °C, aproximadamente.

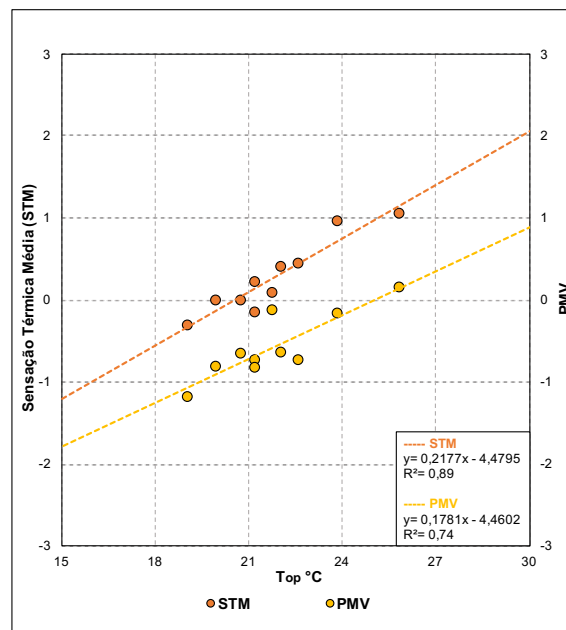


Figura 70 - Relação entre T_{op} , STM e PMV no TLP

5.2.3. CIIMAR

No CIIMAR não houve uma grande variação das temperaturas operativas registadas, situando-se uma grande parte num intervalo bastante limitado. As correlações lineares, para as duas regressões, geraram valores de R^2 próximos, com uma baixa dispersão das duas variáveis, PMV e STM (Figura 71).

No caso do CIIMAR, e de acordo com as correlações lineares obtidas, ao valor de $PMV=0$ corresponde uma temperatura operativa de cerca de 24,3 °C, e à sensação térmica de neutralidade corresponde 23,3 °C, aproximadamente.

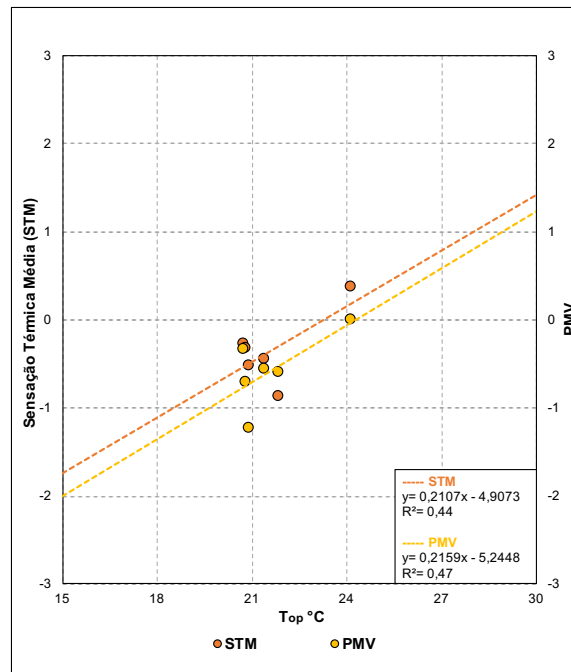


Figura 71 - Relação entre T_{op} , STM e PMV no CIIMAR

5.2.4. PRINCIPAIS CONSIDERAÇÕES

- A inconclusividade da relação entre o PMV e a temperatura operativa ocorrida no TMAT, obrigou à necessidade confirmar nas tabelas presentes no anexo E da norma ISO 7730 [11], para uma taxa de metabolismo de 1,2 met, temperaturas operativas abaixo de 25 °C e velocidades do ar inferiores a 0,10 m/s, qual era a correspondência de valores de PMV. Segundo a análise destas, concluiu-se que a resistência térmica do vestuário [I_{cl}] possui uma grande influência no valor de PMV, para uma mesma temperatura operativa. Os valores de I_{cl} médios neste terminal são relativamente baixos, sendo o mais elevado igual a 0,89 clo. Estas resistências baixas originam, igualmente, PMV mais baixos, estando associados por sua vez, a temperaturas operativas elevadas. A afirmação anterior poderá ser então a principal explicação para estes resultados;
- Os índices PMV calculados no TLP foram mais elevados em comparação ao TMAT, devendo-se ao facto das temperaturas médias diárias exteriores atingirem, na maioria das vezes, valores superiores nos dias de ensaios em Leça da Palmeira do que em Matosinhos, como se comprova pela Figura 72;

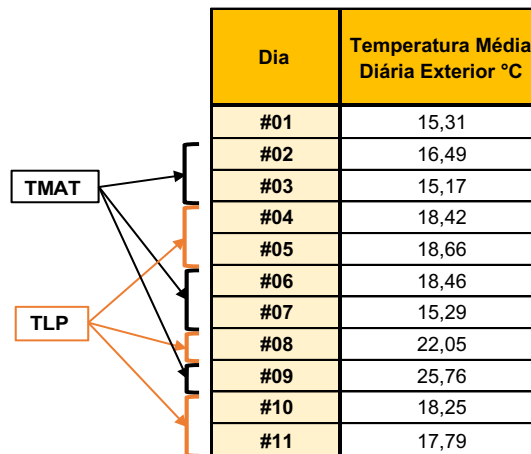


Figura 72 – Temperaturas médias diárias exteriores de todos os dias de ensaios

- No CIIMAR existiu uma baixa dispersão de temperaturas operativas, sendo estas na sua maioria próximas de 21 °C. Em consequência disso não houve uma grande variação das sensações térmicas;
- A Figura 73 expressa os valores de temperatura operativa, em °C, para PMV=0 e STM=0. Conclui-se que as regressões lineares, para PMV=0, estão associadas a temperaturas operativas mais elevadas em comparação à sensação de neutralidade dos indivíduos.

Casos de Estudo	PMV=0	STM=0
TMAT	25,4	17,2
TLP	25,0	20,6
CIIMAR	24,3	23,3

Figura 73 – Valores de T_{op} para PMV=0 e STM=0

5.3. PERCEÇÃO TÉRMICA MÉDIA E ÍNDICES ANALÍTICOS – EFEITO DA PROVENIÊNCIA

No decorrer dos ensaios verificou-se, com base na análise das respostas dos inquiridos, que indivíduos de diferentes origens possuíam sensações térmicas distintas para o mesmo ambiente interior. Nomeadamente inquiridos provenientes de climas tropicais persentiam uma envolvente fria, enquanto que de climas temperados a sensação era preferencialmente confortável ou quente.

Os gráficos a) e b) da Figura 74, resultam da observação efetuada à sensação térmica dos passageiros, de dois países com diferentes climas, em dias e momentos distintos. A figura a) corresponde ao período da manhã do dia de ensaio #04 e a figura b) ao período da tarde do dia com referência #07.

Em ambos os gráficos se concluiu que existem perceções diferentes para o mesmo espaço interior. A maioria dos passageiros provenientes das Filipinas (clima tropical) identificavam um desconforto por arrefecimento. Já no caso dos entrevistados pertencentes a um clima temperado, Figura 74 a), os cidadãos alemães constatarem um desconforto por aquecimento. Os portugueses, 86% dos inquiridos consideraram o ambiente neutro (Figura 74 b)).

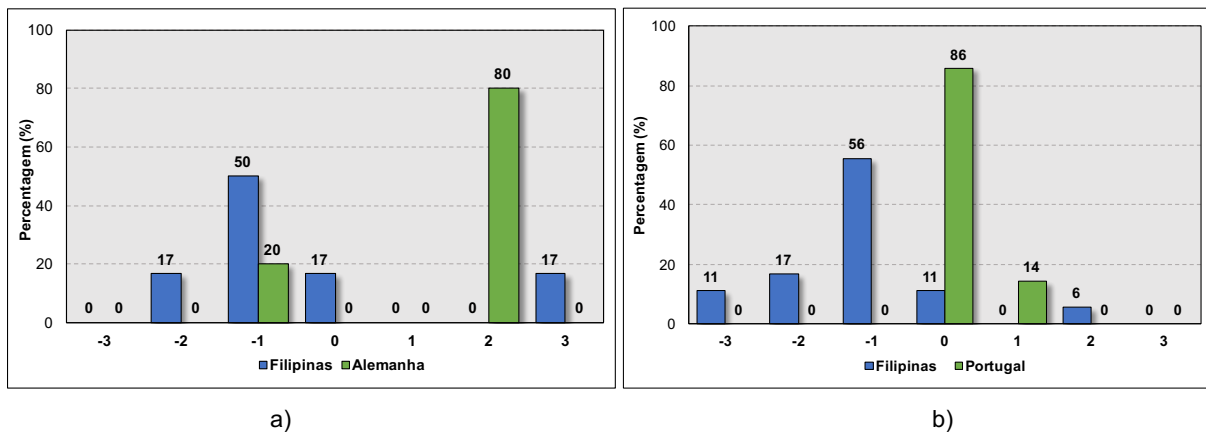


Figura 74 – Sensação térmica de passageiros pertencentes a diferentes climas

Em consequência dos resultados dos ensaios expostos anteriormente e, no sentido de perceber se existe um melhor ajuste entre os valores de PMV e de sensação térmica média, dividiu-se os indivíduos provenientes de climas tropicais e de climas temperados em diferentes séries de dados. Apenas se realizou esta diferenciação visto que são os que possuem as maiores percentagens de inquiridos com essa proveniência. No caso de cidadãos naturais de regiões com características áridas e continentais, devido à amostra humana ser muito reduzida, não foram considerados nesta análise.

Esta separação foi executada em ambos os locais de estudo referentes a passageiros, TMAT e TLP.

Os resultados estão evidenciados na Figura 75 a) e b).

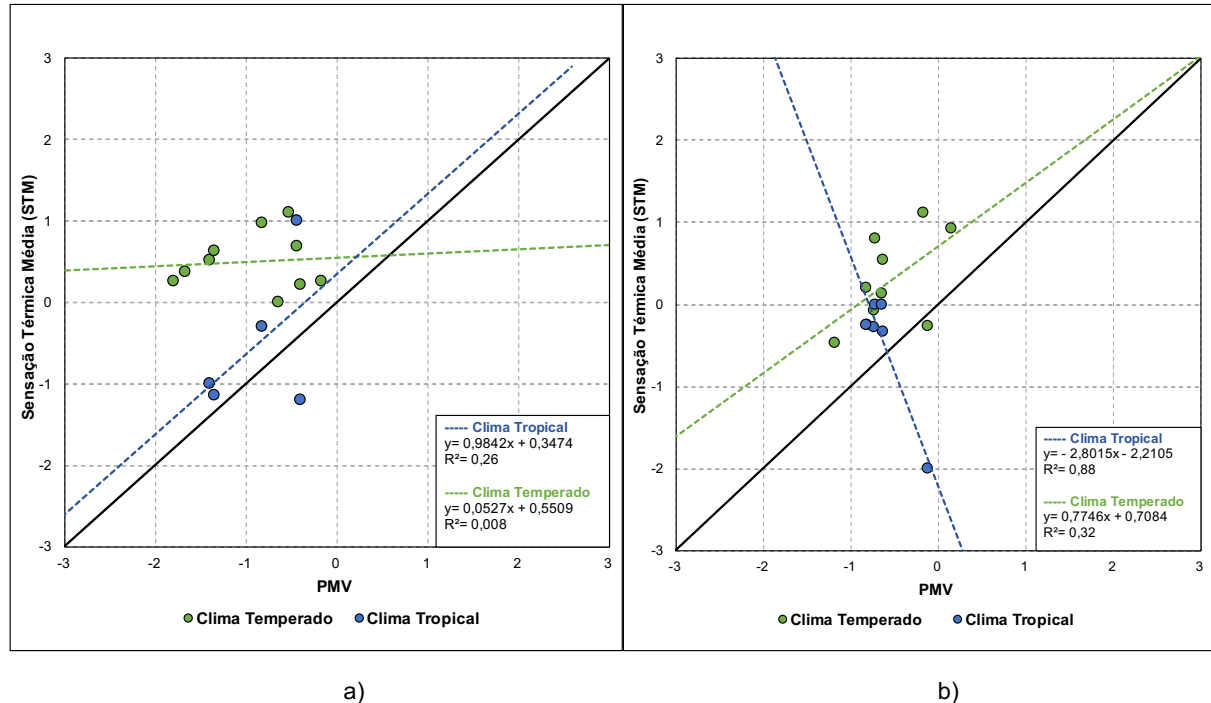


Figura 75 – Divisão de passageiros por climas: a) TMAT b) TLP

Em primeiro lugar é importante realçar o número reduzido de pontos conseguido para o clima tropical em comparação ao temperado, este acontecimento deveu-se à inexistência de inquiridos originários

deste tipo de clima em alguns períodos de medição.

No TMAT não existe correlação entre o PMV e a STM, para as pessoas pertencentes a um clima temperado. Identificando estas uma envolvente interior quente, e um PMV calculado negativo, isto é, percepção de frio. Para os indivíduos com origem em países tropicais, existiu um melhor ajuste dos valores, alcançando-se sensações térmicas médias negativas relacionadas com índices analíticos negativos.

No TLP, os elementos naturais de climas tropicais detinham de sensibilidades térmicas bastante próximas na maioria dos ensaios, identificando um ambiente arrefecido para PMV negativos. Na regressão linear para o clima temperado observa-se uma maior dispersão e inconclusividade nos valores.

As considerações mais relevantes são:

- As sensações térmicas dos passageiros com origem em países de clima tropical dispõem de uma melhor concordância ao PMV medido do que de clima temperado, porém a reduzida porção de indivíduos com essa proveniência não constituiu uma comparação rigorosa;
- A adaptação térmica a um certo clima, faz com que os indivíduos possuam sensações e preferências térmicas diferentes para o mesmo ambiente interior.

5.4. PERCEÇÃO TÉRMICA MÉDIA E ÍNDICES ANALÍTICOS – EFEITO DA IDADE

A diferença de idades entre os entrevistados revelou ser considerável nos passageiros. Devido ao número total de inquéritos ser significativo, procedeu-se à sua divisão a partir destas. Os intervalos selecionados foram, menores de 50 anos e maiores ou iguais a 50 anos.

A principal finalidade é a comparação das sensações térmicas com o PMV, verificando se existe um ajuste diferente nos dois grupos etários. Esta foi unicamente realizada para os casos de estudo que envolvam passageiros (Figura 76), visto que no CIIMAR os funcionários apresentavam maioritariamente idades inferiores a 50 anos.

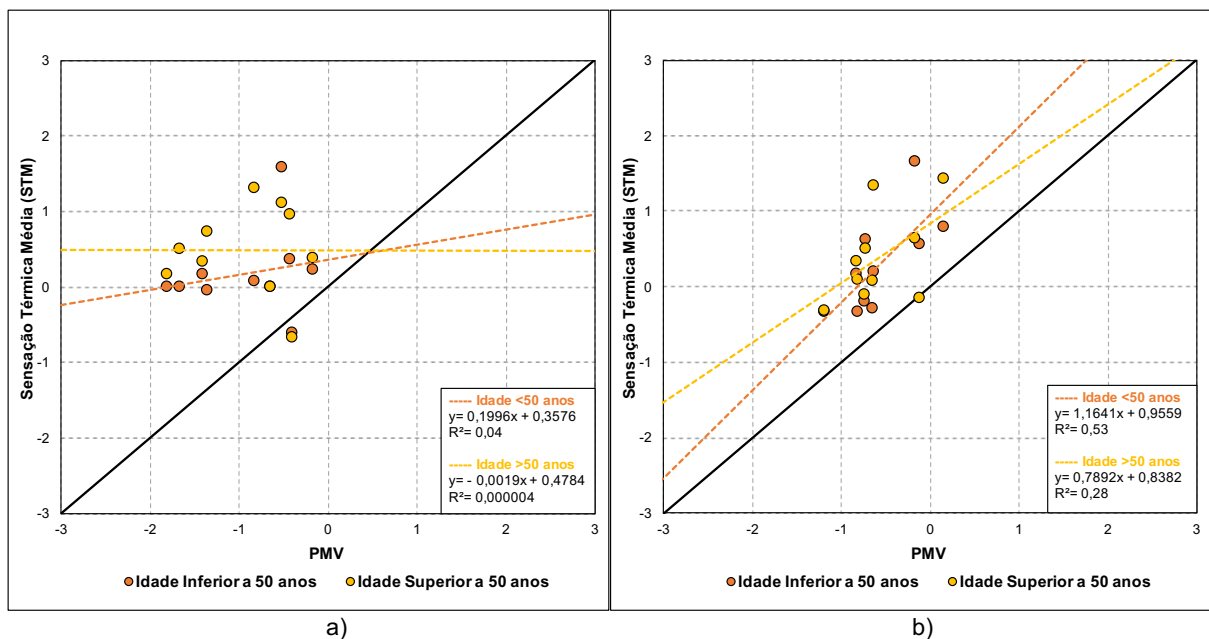


Figura 76 – Divisão de passageiros por idades: a) TMAT, b) TLP

No TMAT a relação entre as duas variáveis é praticamente nula, resultando coeficientes muito próximos de zero (sem correlação). Ambos os intervalos possuem STM positivos, ou seja, percepções de calor no interior do edifício, em contraste a índices analíticos negativos.

No TLP verificou-se um melhor ajuste entre as determinações dos ensaios e a reta que define o cenário mais favorável. O grupo dos indivíduos com idades inferiores a 50 anos apresenta um R^2 mais elevado. Identificando na sua maioria sensações térmicas de valor inferior aos passageiros com mais 50 anos, tendo assim uma maior analogia com o PMV calculado.

Com a finalidade de uma melhor interpretação da diferença de resultados obtidas na Figura 76, procedeu-se a uma verificação entre a resistência térmica do vestuário dos dois intervalos de idades. Este índice possui uma grande influência, não só na sensação térmica dos indivíduos, mas também no cálculo do PMV, visto que à medida que esta resistência aumenta o PMV também.

Os cidadãos com idades iguais ou superiores a 50 anos, identificavam em maior número percepções térmicas dos espaços mais quentes do que os de idades inferiores. Sendo o objetivo da seguinte análise, a averiguação se realmente existiu grandes diferenças entre o I_{cl} , nos mesmos momentos, para os dois grupos selecionados.

Na Figura 77 apresentam-se os resultados de I_{cl} conseguidos, através dos inquéritos, para os respetivos conjuntos de idades.

Dia	Icl - TMAT			
	< 50		> 50	
	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde
#02	0,30	0,50	0,53	0,46
#03	0,65	0,55	0,60	0,49
#06	0,81	0,49	0,75	0,52
#07	0,88	0,60	1,00	0,73
#09	0,44	0,39	0,37	0,33

a)

Dia	Icl - TLP			
	< 50		> 50	
	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde
#04	0,51	0,54	0,37	0,54
#05	0,87	0,53	0,68	0,73
#08	0,50	0,41	0,55	0,34
#010	0,79	0,64	0,80	0,91
#011	0,75	0,55	0,71	0,57

b)

a)

b)

Figura 77 – Diferenças entre I_{cl} para os dois conjuntos de idades: a) TMAT, b) TLP

Segundo a observação dos quadros da figura anterior, constata-se que no mesmo período, não existem grandes diferenças entre as resistências médias. Excetuando alguns casos, como por exemplo os ensaios do momento da tarde correspondente aos dias com referência #05 e #010, no TLP.

Para comprovar a influência, mais uma vez, da resistência térmica do vestuário na estimativa do PMV, utilizou-se os valores do ensaio do dia #010, do período da tarde, voltando-se a calcular separadamente este índice (PMV) para cada I_{cl} .

Com base na Figura 78 comprova-se que para uma resistência mais elevada, o PMV aumenta, estando mais próximo da sensação térmica média fornecida pelos inquéritos. Conclui-se que existe assim uma melhor relação entre o PMV e a STM, no caso dos inquiridos com idades iguais ou superiores a 50 anos.

Dia	Icl - TLP			
	< 50		> 50	
	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde
#04	0,51	0,54	0,37	0,54
#05	0,87	0,53	0,68	0,73
#08	0,50	0,41	0,55	0,34
#010	0,79	0,64	0,80	0,91
#011	0,75	0,55	0,71	0,57

TLP	< 50	> 50	Valor Original
Icl	0,64	0,91	
PMV	-1,11	-0,43	-0,74
STM	-0,2	-0,1	-0,15

Figura 78 – Cálculo dos valores de PMV para diferentes I_{cl}

As observações mais relevantes são:

- Os entrevistados com idades iguais ou superiores a 50 anos apresentam, na maioria das vezes, sensações térmicas mais elevadas (mais calor) em relação aos de idades inferiores a 50 anos;
- Existiu um melhor ajuste entre as variáveis PMV e STM no TLP do que no TMAT;
- A simulação de separação da resistência térmica do vestuário provocou um aumento do PMV e uma maior proximidade com a STM em indivíduos com idades superiores a 50 anos.

5.5. MODELOS ADAPTATIVOS

Os modelos adaptativos considerados na discussão dos resultados foram propostos pelas normas ASHRAE 55 [10] e EN 15251 [15]. Estes são aplicáveis em edifícios sem sistemas de climatização mecânicos de arrefecimento. O edifício do TMAT e do CIIMAR é climatizado, contudo os valores registados foram ainda assim analisados de acordo com os modelos de avaliação de conforto térmico adaptativo, chamando-se a atenção para esta limitação na interpretação dos resultados.

5.5.1. MODELO ASHRAE 55

O modelo adaptativo proposto na ASHRAE 55 [10], apresenta duas zonas de conforto correspondendo a 80% e 90% de aceitabilidade, respetivamente. Este é dependente de duas variáveis, a temperatura operativa [T_{op} em °C] e a temperatura exterior média mensal [T_m em °C]. A última apenas é válida se os valores registados pertencerem a um intervalo entre 10 e 33,5 °C.

A temperatura exterior média mensal foi calculada para cada dia de ensaio a partir dos dados climáticos disponibilizados pela estação meteorológica da APDL. A temperatura operativa foi obtida através da fórmula (5), presente no capítulo 2 desta dissertação, considerando as seguintes variáveis: temperatura do ar [T_a em °C], temperatura média radiante [T_{mr} em °C] e o parâmetro A dependente da velocidade do ar [v_a em m/s].

Os resultados encontram-se apresentados da seguinte forma para as três situações em estudo (TMAT, TLP e CIIMAR):

- Alínea a) - representa a dispersão de pontos, de valor médio, no gráfico correspondente ao modelo;
- Alínea b) – evidencia o número de ensaios que se encontram fora das duas zonas de aceitabilidade.

Dos cinco ensaios no TMAT (Figura 79), apenas dois, no período da manhã, não se localizam no interior de nenhuma zona de aceitação mínima. Todas as medições sucedidas no início da tarde cumprem as condições da região de aceitação de 90% dos indivíduos.

No TLP (Figura 80), a variável T_m , obteve uma variação muito reduzida, entre 16 e 17 °C, sendo que na maioria dos ensaios verifica-se a existência de um conforto interior. Posicionando-se somente uma medição durante a tarde entre a região máxima de 80% e 90% de aceitação e duas, no período da manhã, abaixo da regressão linear correspondente a 90% e a 80%.

A Figura 81 traduz as seis avaliações feitas no CIIMAR, estando todas elas situadas dentro do intervalo admissível para 90% dos inquiridos. Em virtude disso, não se apresenta o gráfico de barras referente ao número de ensaios fora das zonas de conforto.

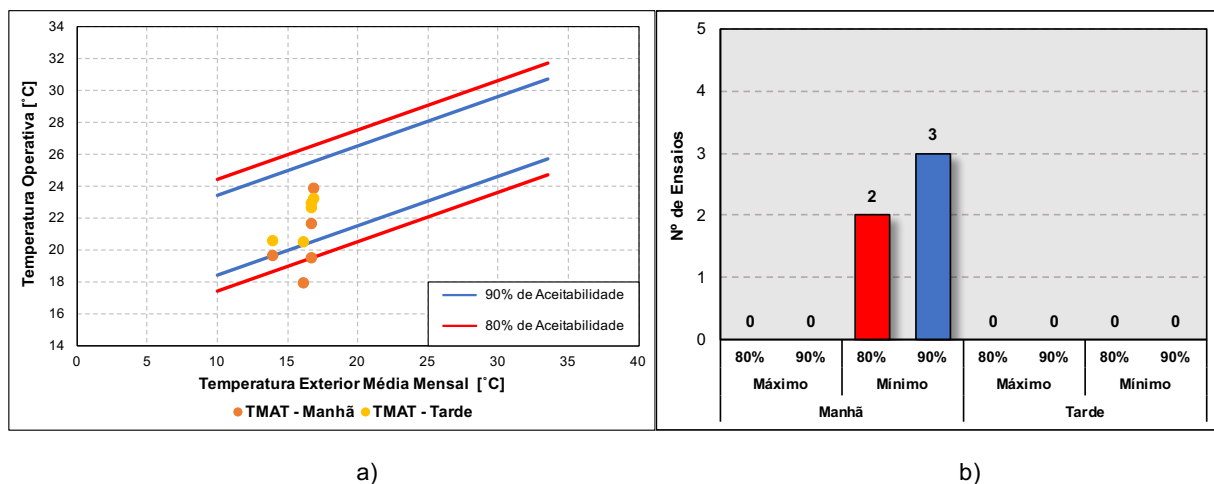


Figura 79 – TMAT: a) Modelo ASHRAE55 [10], b) Nº de Ensaio fora da zona de conforto interior

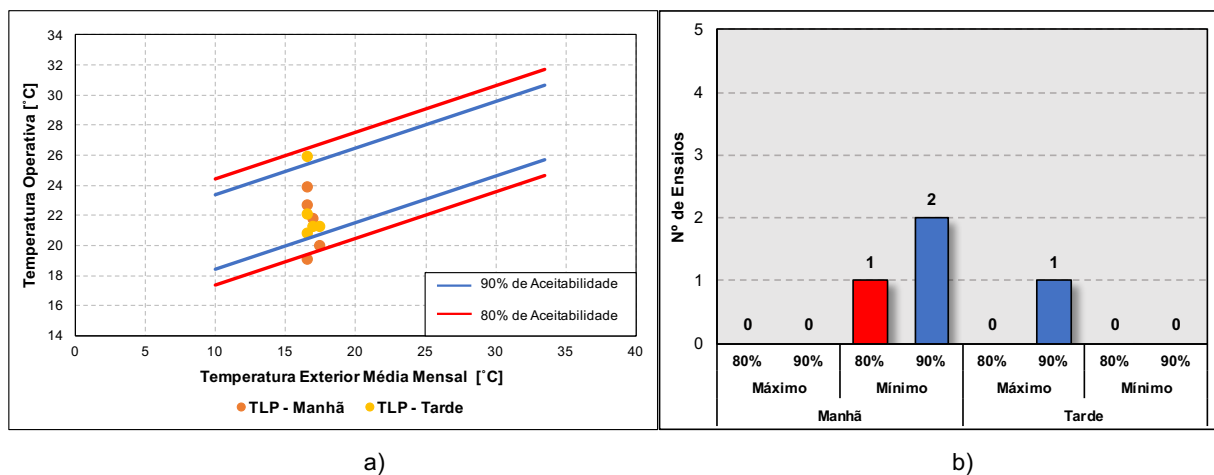


Figura 80 - TLP: a) Modelo ASHRAE55 [10], b) Nº de Ensaio fora da zona de conforto interior

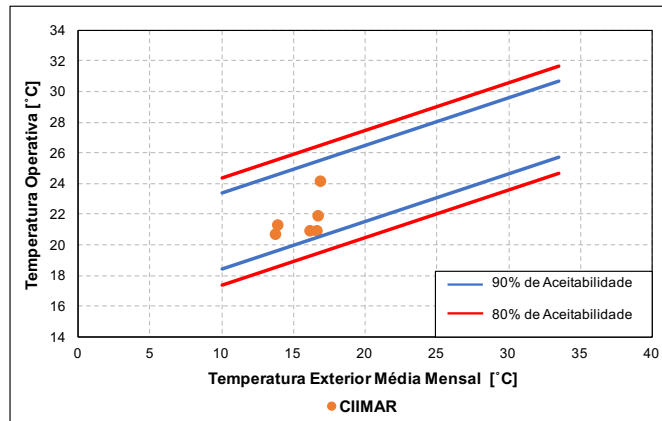


Figura 81 – Modelo ASHRAE 55 [10] – CIIMAR

5.5.2. MODELO EN15251

A EN 15251 [15], sugere um modelo para avaliação de conforto térmico interior, através da divisão, por categorias, de temperatura operativa de conforto mínima e máxima admissível. Para além do modelo original para a estação de arrefecimento (verão) este aplicou-se também para situações de aquecimento (inverno), acrescentando-se por esse motivo as retas representativas dessa estação, como descreve a Figura 82.

Na construção dessas retas, utilizaram-se os intervalos de valores de temperatura, expressos no Quadro 11, que correspondem na situação de aquecimento a uma taxa metabólica de 1,2 met.

Quadro 11 – Intervalo de valores de temperaturas na estação de aquecimento [15]

Categoria	Temperatura Operativa °C	
	Limite Inferior	Limite Superior
I	21,0	25,5
II	20,0	26,0
III	19,0	27,0

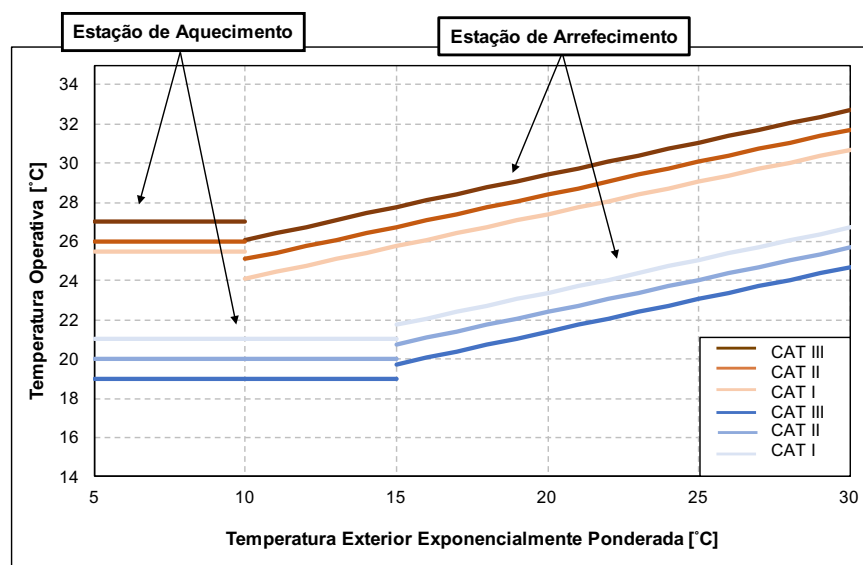
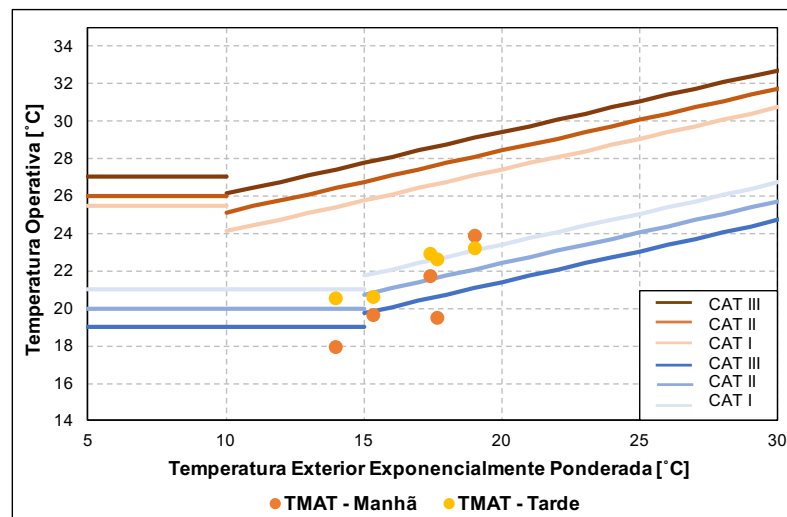


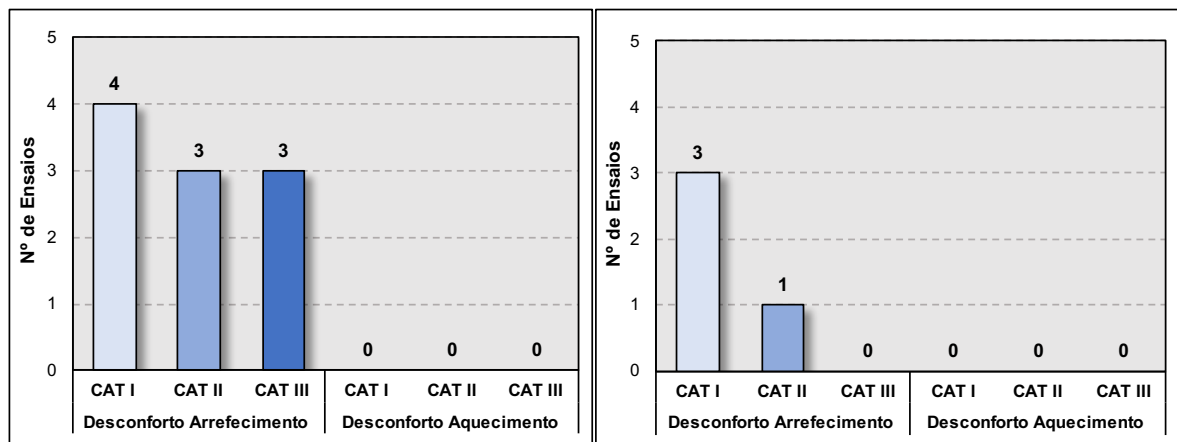
Figura 82 – Modelo EN 15251 (Adaptado de [15])

A temperatura exterior exponencialmente ponderada [T_{mp} em °C], foi determinada através da média das temperaturas exteriores dos setes dias antes da realização do ensaio correspondente, com base nos dados da estação meteorológica da APDL. A temperatura operativa foi estimada, segundo a fórmula (5), tal como no modelo da ASHRAE 55 [10], e é apresentada em função do valor médio de cada medição.

A Figura 83 evidencia a aplicação deste modelo para o TMAT, incluindo o número de ensaios que não fazem parte das regiões delimitadas por cada categoria no período da manhã e no período da tarde.



a)



b)

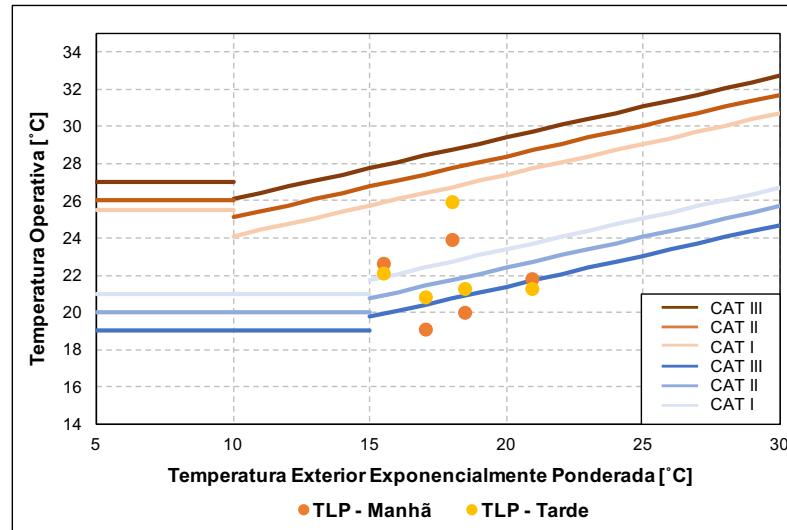
c)

Figura 83 - TMAT: a) Modelo EN15251 [15], b) N° de Ensaio fora de cada categoria – Manhã, c) N° de Ensaio fora de cada categoria – Tarde

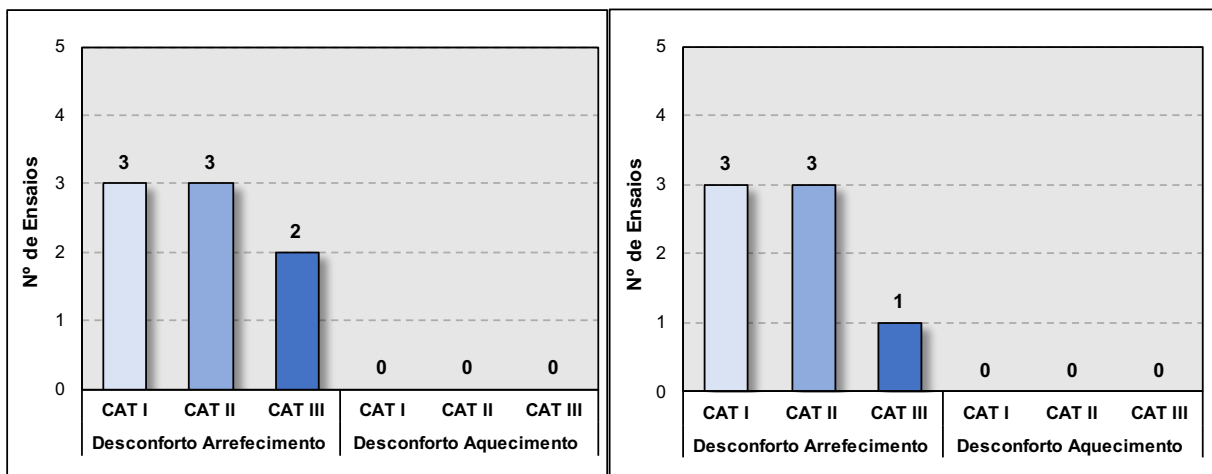
A partir da observação das figuras anteriores verifica-se que em todos os dias de medições nunca existiu desconforto térmico por aquecimento, em ambos períodos. Porém o desconforto por arrefecimento é mais significativo no período da manhã do que no período da tarde, com um maior número de ensaios fora das zonas delimitadas por cada categoria.

No TLP, o desconforto por arrefecimento no período da tarde foi mais visível do que o medido no TMAT (Figura 84 a)), com um maior número de pontos fora de cada categoria (Figura 84 b)). De manhã, o cenário é mais favorável em comparação com o caso de estudo anterior.

No CIIMAR, Figura 85 a) e b), não se constatou nenhum registo fora da zona de conforto da categoria III.



a)



b)

c)

Figura 84 - TLP: a) Modelo EN15251 [15], b) N° de Ensaios fora de cada categoria – Manhã, c) N° de Ensaios fora de cada categoria – Tarde

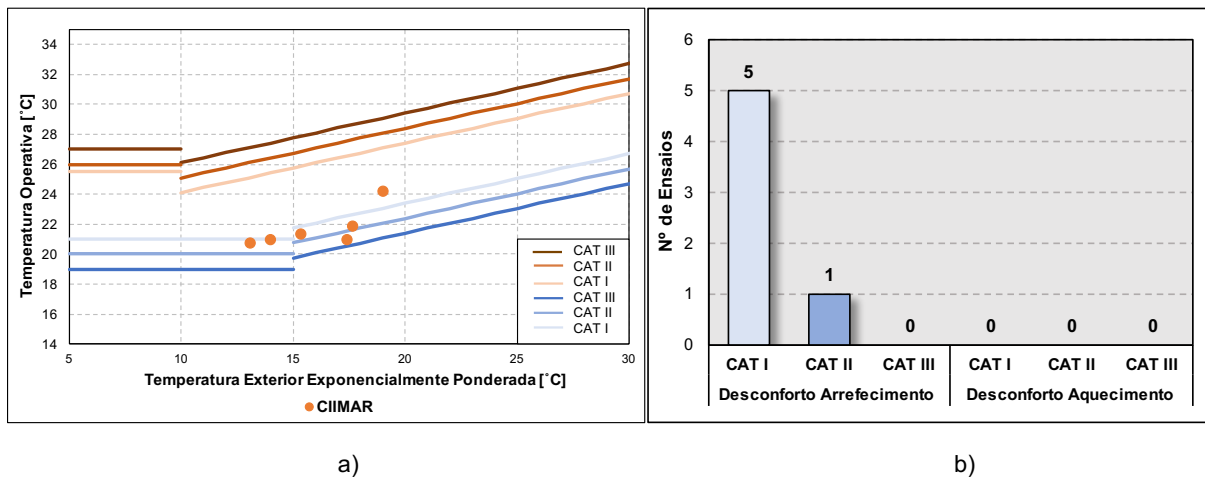


Figura 85 – CIIMAR: a) Modelo EN15251 [15], b) Nº de Ensaio fora de cada categoria

Analisando a Figura 86, conclui-se que, na generalidade, as temperaturas exterior média mensal e exterior exponencialmente ponderada dos ensaios realizados no TLP são superiores aos executados no TMAT. A primeira mantém-se num intervalo entre os 16 e os 18 °C, em 9 dos 11 ensaios, a segunda apresenta uma maior variação.

Comprova-se ainda a existência de diferenças significativas, em algumas medições, entre as temperaturas operativas nos horários das medições de manhã e de tarde. O valor mínimo foi de 17,9 °C e o máximo de 23,85 °C, no período da manhã e, no período da tarde, o mínimo foi de 20,05 °C e o máximo de 25,85 °C. No CIIMAR manteve-se aproximadamente entre 20 e 22 °C, exceto no dia com referência #09.

Dia	Local de Medição	Tm [°C]	Tmp [°C]	Top [°C]					
				Média [X]			Desvio Padrão [σ]		
				Manhã	Hora de Almoço	Tarde	Manhã	Hora de Almoço	Tarde
#01	CIIMAR	13,81	13,08	-	20,7	-	-	0,0773	-
#02	TMAT CIIMAR	13,99	15,37	19,6	21,3	20,55	0,0839	0,0669	0,4100
#03	TMAT CIIMAR	16,20	14,03	17,9	20,9	20,5	0,2359	0,0798	0,1947
#04	TLP	16,59	15,54	22,6	-	22,05	0,0627	-	0,0451
#05	TLP	16,62	17,08	19,05	-	20,75	0,0296	-	0,07068
#06	TMAT CIIMAR	16,72	17,43	21,65	20,9	22,9	0,0417	0,0270	0,0959
#07	TMAT CIIMAR	16,76	17,68	19,45	21,85	22,6	0,0482	0,0781	0,0885
#08	TLP	16,62	18,05	23,85	-	25,85	0,1192	-	0,1727
#09	TMAT CIIMAR	16,93	19,05	23,85	24,15	23,2	0,2522	0,0506	0,4389
#10	TLP	17,02	20,99	21,75	-	21,2	0,3329	-	0,1684
#11	TLP	17,48	18,56	19,94	-	21,2	0,2629	-	0,0834

Figura 86 – Tm, Tmp e Top (média e desvio padrão) de todos os ensaios

5.5.3. PRINCIPAIS CONSIDERAÇÕES

- No mesmo edifício, para o modelo da ASHRAE 55 [10], comprovou-se a existência de uma aceitação do ambiente interior por parte de 90% dos ocupantes no CIIMAR. O mesmo não se sucedeu nas zonas relativas ao TMAT onde se observam vários ensaios abaixo desse nível de aceitabilidade;

- Em comparação com o TMAP, o TLP obteve melhores resultados no modelo mencionado no ponto anterior, no entanto registou-se um ensaio com um valor de temperatura operativa elevado;
- No modelo da EN15251 [15] o caso de estudo CIIMAR voltou a apresentar resultados que indicam a inexistência de desconforto por aquecimento e por arrefecimento;
- A análise dos dois modelos permitiu concluir que a confortabilidade térmica se cumpriu exclusivamente quando a temperatura operativa atingiu registos superiores a 20 °C.

6 CONCLUSÕES

6.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação do conforto térmico é influenciada por diversos fatores, podendo ser de origem ambiental ou pessoal. Após a observação de todos os resultados e a sua posterior análise e comparação podem ser retiradas algumas conclusões principais:

- A sensação térmica média dos inquiridos foi de 0,374, 0,250 e -0,347 no TMAT, TLP e CIIMAR, respetivamente. Estes resultados mostram que genericamente os passageiros sentiam um ligeiro desconforto por aquecimento, e os trabalhadores do CIIMAR por arrefecimento;
- O desajuste dos valores de PMV com a STM dos passageiros, pode estar relacionado a uma possível adaptação psicológica. Todas as pessoas entrevistadas, independentemente da sua idade, transpareciam ter um estilo de vida ativo e acima de tudo sentiram-se interiormente satisfeitas. Em consequência disso persentiram sensações térmicas diferentes da realidade;
- A separação dos passageiros entre o género masculino e feminino, revelou que não existiu uma grande distinção entre as perceções térmicas de ambos, sendo que o feminino sentia, em média, um ambiente ligeiramente mais quente do que o masculino;
- No CIIMAR, as opiniões dos inquiridos foram diferentes da dos passageiros. A insatisfação térmica verificou-se para os diversos dias com diferentes temperaturas/estados do tempo;
- O descontentamento por parte dos inquiridos no CIIMAR poderá estar relacionado não só com os níveis de taxa de corrente de ar [DR] medidos, atingindo-se valores máximos de 100%, mas também por um funcionamento inadequado do sistema de climatização;
- As sensações térmicas dos passageiros provenientes de climas tropicais possuíram um melhor ajuste em relação ao PMV medido, o mesmo não aconteceu com os viajantes de clima temperado;
- Na relação entre temperatura operativa e sensação térmica média obtiveram-se resultados mais ajustados, pelo que a utilização deste parâmetro ambiental é mais adequado, neste caso, do que a aplicação do PMV;
- A resistência térmica do vestuário [I_{cl}], detém um grande domínio no valor final de PMV, devido ao facto de se ter observado de que para temperaturas elevadas e resistências baixas, o PMV correspondente era negativo;
- A questão relativa ao número de companheiros de viagem não permitiu atingir nenhuma conclusão. Uma vez que os passageiros viajavam, em média, com uma pessoa. Conseguindo-se

respostas em que os indivíduos, estavam perfeitamente confortáveis com o ambiente térmico interior, do mesmo modo que, para as mesmas condições, se receberam opiniões contrárias;

- O tempo de permanência no interior do edifício sofreu grandes variações no contexto de análise dos passageiros. Desta forma algumas discrepâncias de opiniões recebidas, poderão ser explicadas por circunstâncias em que os entrevistados permaneciam há poucos minutos naquele espaço e por essa razão possuíram percepções térmicas sentidas no exterior;
- O estado de saúde deteve uma intervenção praticamente inexistente na correta avaliação do conforto térmico, dado que a maioria dos cidadãos responderam que se sentiam “normal” no momento do inquérito;
- De acordo com a comparação entre os resultados de PPD e as opiniões dos inquiridos na questão relativa ao desconforto localizado, comprovou-se que no período TMAP – Manhã e TLP – Tarde possuíram uma melhor correlação. Contrariamente no CIIMAR a insatisfação é muito superior aos valores calculados de PPD;
- Os modelos adaptativos conseguiram melhores resultados no CIIMAR, espaço onde se verificou, como foi mencionado anteriormente, o maior descontentamento por parte dos ocupantes. Não existindo assim uma avaliação final unânime;
- Não se efetuou uma correção à taxa de metabolismo, para cálculo de diferentes índices PMV, devido ao facto de os passageiros possuírem idades médias elevadas. Por esse motivo, e mesmo que a atividade desportiva seja regular, não influencia o seu organismo de maneira a alterar o metabolismo;
- Os entrevistados com idades iguais ou superiores a 50 anos apresentam, na maioria das vezes, sensações térmicas mais elevadas (mais calor) em relação aos de idades inferiores a 50 anos.

6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

O estudo que foi realizado neste trabalho abriu espaço a novos desenvolvimentos nesta área, nomeadamente:

- Alargar o estudo a diferentes períodos do ano, para assim se proceder a uma análise mais rigorosa do conforto térmico em temporadas distintas;
- Avaliar a qualidade do ar nas três situações em análise (TMAT, TLP e CIIMAR), visto que se verificou uma insatisfação por parte dos indivíduos;
- Colocar uma estação meteorológica junto aos locais de medição, de maneira a que os resultados do clima exterior sejam mais exatos;
- Desenvolver um novo índice com capacidade para avaliar, corretamente, as condições de conforto térmico em edifícios que envolvam a permanência de indivíduos por curtos períodos de tempo, nomeadamente de transportes. Trata-se, obviamente, de um objetivo ambicioso que implica alargar significativamente a amostra e a incluir novos ensaios, quer em locais diferentes, quer em outros períodos do ano.

BIBLIOGRAFIA

- [1] A. C. Piedade, A. M. Rodrigues, and L. F. Roriz, *Climatização em edifícios—envolvente e comportamento térmico*. Edição Orion, 2000.
- [2] Fanger, P. O., *Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering*. New York: McGraw Hill, 1970.
- [3] L. Matias, "Desenvolvimento de um modelo adaptativo para definição das condições de conforto térmico em Portugal", Tese de Doutoramento, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2010.
- [4] K. Parsons, *Human thermal environments. The effects of hot, moderate and cold temperatures on human health, comfort and performance*, London: Taylor & Francis, 2003.
- [5] P. Lavigne, *Architecture climatique: une contribution au développement durable*, Aix-en-Provence: Edisud, 1994.
- [6] *ASHRAE Handbook – Fundamentals*, ASHRAE, 2009
- [7] J. Hensen and R. Lamberts, *Building Performance Simulation for Design and Operation*. London: Spon Press, 2011.
- [8] *Ergonomics of the Thermal Environment, Instruments for measuring physical quantities*, ISO 7726, 1998.
- [9] R. M. d. S. F. Almeida, "Avaliação do desempenho higrotérmico do parque escolar reabilitado", Tese de Doutoramento, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2011.
- [10] *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, ASHRAE 55, 2013.
- [11] *Ergonomics of the Thermal Environment, Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort using Calculation of the PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort Criteria*, ISO 7730, 2005.
- [12] *Ergonomics of the Thermal Environment, Determination of metabolic rate*, ISO 8996, 2004.
- [13] R. d. Dear, G. Brager, and D. Cooper, "Developing an adaptive model of thermal comfort and preference - Final Report (ASHRAE RP-884)", ASHRAE, Atlanta, USA, 1997.
- [14] G. Brager, G. Paliaga, and R. de Dear, "The effect of personal control and thermal variability on comfort and acceptability - Final Report ASHRAE RP-116", ASHRAE, Atlanta, USA, 2004.
- [15] *Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings-addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics*, CEN – EN15251, 2007.
- [16] M. Abbaspour, M. J. Jafari, N. Mansouri, F. Moattar, N. Nouri, and M. Allahyari, "Thermal comfort evaluation in Tehran metro using Relative Warmth Index", *International Journal of Environmental Science & Technology*, journal article vol. 5, no. 3, pp. 297-304, 2008.
- [17] G. Katavoutas, M. N. Assimakopoulos, and D. N. Asimakopoulos, "On the determination of the thermal comfort conditions of a metropolitan city underground railway", *Science of the Total Environment*, Article vol. 566-567, pp. 877-887, Jun. 2016.
- [18] F. Ampofo, G. Maidment, and J. Missenden, "Underground railway environment in the UK Part 1: Review of thermal comfort", *Applied Thermal Engineering*, vol. 24, no. 5–6, pp. 611-631, Abr. 2004.

- [19] A. Kotopouleas and M. Nikolopoulou, "Thermal comfort conditions in airport terminals: Indoor or transition spaces?", *Building and Environment*, vol. 99, pp. 184-199, Jan. 2016.
- [20] Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo, S.A. (2017, Abr.). *Porto de Leixões: A História* [Online]. Disponível em: <http://www.apdl.pt/historia>
- [21] Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo, S.A. (2017, Abr.). *Porto de Leixões: Cais e Terminais* [Online]. Disponível em: <http://www.apdl.pt/caracteristicas/cais-e-terminais>
- [22] L. C. Q. Rodrigues, "Projecto de estruturas do terminal de cruzeiros de Leixões: Edifício do terminal de passageiros", Dissertação de Mestrado Integrado, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2009.
- [23] Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo, S.A. (2017, Abr.). *Porto de Leixões: Galeria de Imagens* [Online]. Disponível em: <http://www.apdl.pt/pt/galeria-imagens>
- [24] Delta OHM, *Thermal Microclimate HD32.1 Manual*, 2009
- [25] L. P. Silva, F. V. Gomes, F. T. Pinto, P. J. Rosa-Santos, and H. G. Lopes, "Terminal de Cruzeiros de Leixões: Arquitectura e Engenharia Portuária ", *Atas das 3^{as} Jornadas de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente* (ed. F. Taveira Pinto), 2008.
- [26] *Ergonomics of the Thermal Environment, Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales*, ISO 10551, 2001.
- [27] M. C. Peel, B. L. Finlayson, and T. A. McMahon, "Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification," *Hydrology and earth system sciences discussions*, vol. 4, no. 2, pp. 439-473, Out. 2007.
- [28] G. Liu, C. Cen, Q. Zhang, K. Liu, and R. Dang, "Field study on thermal comfort of passenger at high-speed railway station in transition season", *Building and Environment*, vol. 108, pp. 220-229, Nov. 2016.
- [29] K. Pantavou, G. Theoharatos, M. Santamouris, and D. Asimakopoulos, "Outdoor thermal sensation of pedestrians in a Mediterranean climate and a comparison with UTCI", *Building and Environment*, vol. 66, pp. 82-95, Ago. 2013.

ANEXOS

Anexo A – Inquéritos TMAP e TLP

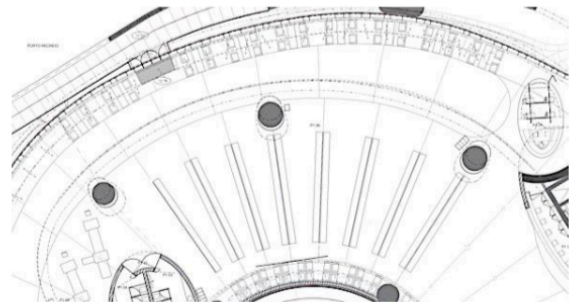


Dissertation – Master in Civil Engineering
Expertise in Construction

Date: __/__/__

Time: __: __

Evaluation of Passengers' Thermal Comfort



Age: _____ Gender: ☐ F ☐ M Country: _____
Weight: _____ Kg _____ lbs Height: _____ m _____ Ft _____ in

1. How do you feel at this moment?

☐ Hot ☐ Warm ☐ Slightly Warm ☐ Neutral ☐ Slightly Cool ☐ Cool ☐ Cold

2. At this moment, do you find this room...

☐ Comfortable ☐ Slightly Uncomfortable ☐ Uncomfortable ☐ Very Uncomfortable ☐ Extremely Uncomfortable

3. At this moment, how would you prefer to be?

☐ Much Warmer ☐ Warmer ☐ Slightly Warmer ☐ No Change ☐ Slightly Cooler ☐ Cooler ☐ Much Cooler

4. How long have you been here? _____ min

5. Is this environment, in your opinion?

☐ Perfectly Bearable ☐ Slightly Difficult to Bear ☐ Difficult to Bear ☐ Unbearable

6. Today, your health status is:

☐ Better than Usual ☐ Usual ☐ Worse than Usual

7. How many people are you travelling with? _____



8. How often do you practice exercise?

☐

Never

☐

1 to 3 times a week

☐

More than 3 times a week

**9. If you are dissatisfied with the temperature, what is the most critical zone of your body?
 (You can choose more than one option)**

☐

Head

☐

Chest/
Back/
Arms

☐

Hands

☐

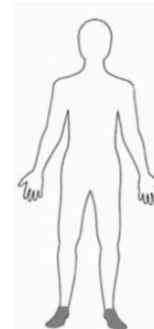
Legs

☐

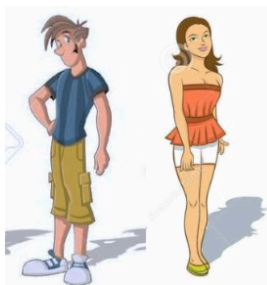
Feet

☐

All Body



10. Using the images below, what type of clothing are you wearing right now?

☐
☐
☐
☐


T-shirt, Shorts, Shoes



T-shirt, Trousers,
Shoes

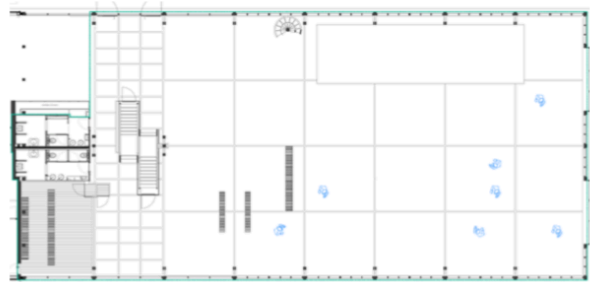


Shirt, Trousers,
Shoes



Shirt, Jacket,
Trousers, Shoes

Evaluation of Passengers' Thermal Comfort



Age: _____ Gender: ☐ F ☐ M Country: _____

Weight: _____ Kg _____ lbs Height: _____ m _____ Ft _____ in

1. How do you feel at this moment?

☐ Hot ☐ Warm ☐ Slightly Warm ☐ Neutral ☐ Slightly Cool ☐ Cool ☐ Cold

2. At this moment, do you find this room...

☐ Comfortable ☐ Slightly Uncomfortable ☐ Uncomfortable ☐ Very Uncomfortable ☐ Extremely Uncomfortable

3. At this moment, how would you prefer to be?

☐ Much Warmer ☐ Warmer ☐ Slightly Warmer ☐ No Change ☐ Slightly Cooler ☐ Cooler ☐ Much Cooler

4. How long have you been here? _____ min

5. Is this environment, in your opinion?

☐ Perfectly Bearable ☐ Slightly Difficult to Bear ☐ Difficult to Bear ☐ Unbearable

6. Today, your health status is:

☐ Better than Usual ☐ Usual ☐ Worse than Usual

7. How many people are you travelling with? _____



8. How often do you practice exercise?

☐

Never

☐

1 to 3 times a week

☐

More than 3 times a week

**9. If you are dissatisfied with the temperature, what is the most critical zone of your body?
 (You can choose more than one option)**

☐

Head

☐

Chest/
Back/
Arms

☐

Hands

☐

Legs

☐

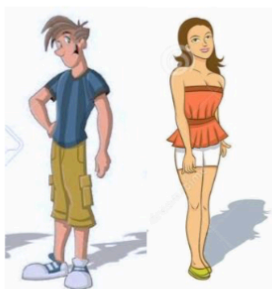
Feet

☐

All Body



10. Using the images below, what type of clothing are you wearing right now?

☐
☐
☐
☐


T-shirt, Shorts, Shoes



T-shirt, Trousers,
Shoes



Shirt, Trousers,
Shoes



Shirt, Jacket,
Trousers, Shoes

Anexo B – Inquérito CIIMAR



Mestrado Integrado Em Engenharia Civil
Especialização em Construções

**Inquérito para a Avaliação do Conforto
Térmico Interior**

Localização:	Piso 2 - CIIMAR
Data:	___/___/___
Hora:	___:___ h

2016/2017

Inquérito para a Avaliação do Conforto Térmico Interior

Dados pessoais:

Idade: _____ **Peso (aprox.):** _____ kg

Sexo: ☐ F **Altura (aprox.):** _____ m
☐ M

Quantas vezes por semana pratica exercício físico?

☐ 1 a 3 vezes ☐ Mais que 3 vezes ☐ Nunca

Como se sente em termos de saúde hoje?

☐ Melhor que o normal ☐ Normal ☐ Pior que o normal

1. Como se sente neste momento?

☐ Muito quente ☐ Quente ☐ Ligeira mente quente ☐ Nem quente nem frio ☐ Ligeira mente frio ☐ Frio ☐ Muito frio

2. Neste momento, como classifica o ambiente interior?

☐ Confortável ☐ Ligeiramente desconfortável ☐ Desconfortável ☐ Muito desconfortável ☐ Extremamente desconfortável

3. Na sua opinião, o ambiente a nível térmico é?

☐ Tolerável ☐ Pouco tolerável ☐ Muito pouco tolerável ☐ Intolerável

4. Neste momento, como gostaria de estar?

☐ Muito mais quente ☐ Mais quente ☐ Ligeira mente mais quente ☐ Igual ☐ Ligeira mente mais frio ☐ Mais frio ☐ Muito mais frio

5. Caso não esteja confortável, indique as zonas onde sente desconforto:
(assinale uma ou mais)



(cabeça)

☐


(peito/costas/
braços)

☐


(mãos)

☐


(pernas)

☐


(pés)

☐


(corpo inteiro)

☐

Mestrado Integrado Em Engenharia Civil – Especialização em Construções

Inquérito para a Avaliação do Conforto Térmico Interior

6. Indique todas as peças de roupa que está a usar.

Camisa/blusa:

- ☐ T-shirt (0,08)
- ☐ Camisa de verão, manga curta (0,19)
- ☐ Camisa de verão, manga comprida (0,20)
- ☐ Blusa de verão, manga comprida (0,15)
- ☐ Camisa de inverno (0,25)
- ☐ Camisa de flanela, manga comprida (0,30)

Camisola/Pulôver:

- ☐ sem mangas (0,12)
- ☐ manga comprida de verão (0,20)
- ☐ manga comprida de meia-estação (0,25)
- ☐ manga comprida de inverno (0,36)

Casaco:

- ☐ de verão (0,25)
- ☐ de inverno (0,35)

Calças

- ☐ Calções (0,06)
- ☐ de verão (0,20)
- ☐ de meia-estação/(ganga) (0,25)
- ☐ de inverno/(flanela) (0,28)

Vestido/Saia:

- ☐ saia curta, de verão (0,15)
- ☐ saia comprida, de inverno (0,25)
- ☐ vestido, manga curta (de verão) (0,20)
- ☐ vestido, manga comprida (de inverno) (0,40)

Meias:

- ☐ finas (0,02)
- ☐ grossas, pelo tornozelo (0,05)
- ☐ grossas, pelo joelho (0,10)
- ☐ de nylon (0,03)
- ☐ collants (0,10)

Calçado:

- ☐ sola fina, ténis/sapato (0,02)
- ☐ sola grossa, ténis desportivo (0,04)
- ☐ botas (0,10)
- ☐ sandálias (0,02)

Acessórios:

- ☐ cachecol/lenço (0,05)
- ☐ luvas (0,05)
- ☐ chapéu/boné

7. Alterou o seu vestuário no decorrer da última hora, com o intuito de melhorar as condições de conforto térmico?

☐ Sim

☐ Não



Mestrado Integrado Em Engenharia Civil – Especialização em Construções

Inquérito para a Avaliação do Conforto Térmico Interior

8. No momento, o sistema de climatização do espaço está ...

☐ Ligado

☐ Desligado

9. Há quanto tempo se encontra neste espaço: _____

10. Como considera a qualidade do ar no EXTERIOR deste local?

☐ Muito aceitável

☐ Aceitável

☐ Má

☐ Muito má

11. Como considera a qualidade do ar no INTERIOR deste local?

☐ Muito aceitável

☐ Aceitável

☐ Má

☐ Muito má

12. Como classifica a qualidade do ar em termos de odores no interior deste local?

☐ Sem odores

☐ Odores ligeiros

☐ Odores fortes

13. Alguma vez se sentiu insatisfeito com o ar dentro deste local?

☐ Sim

☐ Não